

# INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN TERBANGUN BERKELANJUTAN



Jati Utomo Dwi Hatmoko, Ph.D.



ISBN: 978-623-88383-4-9





# **INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN TERBANGUN BERKELANJUTAN**

**Editor:  
Jati Utomo Dwi Hatmoko, Ph.D.**



**FAKULTAS  
TEKNIK**  
UNIVERSITAS DIPONEGORO



# INFRASTRUKTUR DAN LINGKUNGAN TERBANGUN BERKELANJUTAN

## Editor:

Jati Utomo Dwi Hatmoko, Ph.D.

Hak cipta © 2022 pada penulis

## Hak cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan sengaja menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa seizin tertulis dari Penulis.

## Diterbitkan oleh:



FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
Jl. Prof. Sudarto, SH – Kampus Tembalang, Semarang

201 hal + viii

ISBN: 978-623-88383-4-9

E-ISBN: 978-623-88383-5-6 (PDF)

Revisi 0, Tahun 2022

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Diizinkan menyitir dan menggandakan isi buku ini dengan memberikan apresiasi sebagaimana kaidah yang berlaku



## PRAKATA

Buku ini merupakan seri pertama kolaborasi para penulis di lingkungan departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Buku ini terdiri dari 9 bab yang ditulis oleh para ahli dengan memfokuskan pada tema besar mengenai infrastruktur dan lingkungan terbangun berkelanjutan.

Jati Utomo Dwi Hatmoko dkk mengawali Bab 1 dengan menjelaskan tentang batas sistem perhitungan energi pada proyek konstruksi. Mengingat industri konstruksi dan pendukungnya merupakan pengeksploitasi sumber daya alam dan pengguna energi terbesar yang berdampak negatif pada lingkungan, maka desain dan konstruksi bangunan harus dilaksanakan dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Total energi dalam siklus hidup bangunan mencakup embodied energi, operational energi, recurring embodied energi, dan decommissioning energi. Siklus hidup bangunan berdasarkan batasan sistem yang harus dilalui dan besaran konsumsi energi tergantung dari perhitungan batasan sistem, berupa cradle to grave, cradle to gate, cradle to grave, dan cradle to cradle.

Pada Bab 2, Desyta Ulfiana dkk mengenalkan water sensitive urban design sebagai konsep lingkungan terbangun berkelanjutan sebagai solusi atas permasalahan krisis air di perkotaan. Water sensitive urban design dapat diterapkan dengan membuat beberapa variasi elemen bangunan seperti, pemanenan air hujan, rain gardens, sistem bioretensi, green roofs, daur ulang air limbah, sengkedan, constructed wetlands, dan sebagainya. Penerapan konsep ini mampu mengintegrasikan seluruh siklus air perkotaan, mulai dari supply dan demand, air limbah, air hujan dan runoff, bahkan termasuk kontribusi dari komunitas lokal untuk meningkatkan kualitas hidup.

Selain permasalahan krisis air, banjir juga memerlukan perhatian khusus dari wilayah perkotaan. Zero delta Q policy menjadi solusi yang dibahas oleh Hary Budienny dan Dwi Kurniani pada Bab 3, yaitu berfungsi mempertahankan besaran debit limpasan supaya tidak bertambah dan memberikan kesempatan air untuk berinfiltrasi ke dalam tanah. Hal tersebut dapat diterapkan pada semua jenis



penggunaan lahan dan kawasan komersial yang sudah terbangun, melalui teknologi Low Impact Development (LID). Teknologi LID memungkinkan air hujan dikelola secara lokal, dengan mempertahankan kondisi hidrologi suatu kawasan yang dikembangkan sama dengan saat awal sebelum dikembangkan, misalnya melalui teknologi bioretensi, sumur resapan, biopori, dan lain-lain.

Sedangkan pada perspektif infrastruktur lainnya, untuk menjaga fungsi waduk yang berkelanjutan, modifikasi infrastruktur dapat diterapkan agar waduk masih tetap berfungsi setelah umur rencana. Modifikasi infrastruktur pada bendungan yang telah terbangun memiliki dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan, sosial, dan ekonomi, serta masa konstruksinya lebih pendek dibandingkan dengan pembangunan bendungan baru. Modifikasi yang dibahas oleh Dyah Ayu Wulandari dkk pada Bab 4 tersebut berupa perubahan infrastruktur yang dilakukan pada bendungan, area waduk dan bangunan pelengkap pada bendungan lama yang mengalami permasalahan sedimentasi dan kenaikan debit inflow, antara lain dengan kompartemen, peninggian tubuh bendungan, modifikasi pelimpah dan modifikasi intake.

Setelah bab sebelumnya membahas infrastruktur keairan berkelanjutan, pada Bab 5 ini, Banu Ardi Hidayat dkk mendiskusikan upaya peningkatan kapasitas struktur bangunan eksisting. Adanya berbagai masalah pada bangunan gedung, misalnya kerusakan akibat gempa bumi serta kesalahan desain dan konstruksi, menyebabkan perlu adanya penguatan struktur menggunakan komponen Fiber-Reinforced Polymer (FRP), sehingga tidak perlu membangun struktur baru. Material FRP tersusun dari polimer dan serat yang dipasangkan menggunakan zat matriks pada permukaan struktur. Karakteristik dan properti bahan FRP menyesuaikan serat penyusun dan bentuk FRP yang dibuat oleh produsen. Nantinya, FRP dapat meningkatkan kapasitas beban lentur, geser, dan aksial dari komponen struktur.

Apabila ditinjau dari material yang digunakan, beton geopolimer berpotensi memiliki nilai lebih dibandingkan dengan beton konvensional. Selain ramah lingkungan, material geopolimer mempunyai kuat tekan tinggi, durabilitas tinggi, permeabilitas rendah,



dan tahan terhadap bahan kimia yang merusak beton. Nantinya, beton geopolimer dapat menggantikan keberadaan semen Portland dalam perencanaan campuran beton. Penggunaan beton geopolimer dapat pula diimplementasikan sebagai perkuatan bangunan eksisting, misalnya dengan mengganti haunch pada hubungan balok kolom beton konvensional menggunakan beton geopolimer yang dapat memadat sendiri sehingga dapat meminimalkan potensi keropos. Hal inilah yang didiskusikan oleh Bobby Rio Indriyantho dkk pada Bab 6.

Selanjutnya pada Bab 7 Kami Hari Basuki dkk membahas mengenai pengembangan transportasi umum perkotaan. Mengingat saat ini, angkutan umum belum menjadi pilihan menarik bagi pelaku perjalanan yang ditunjukkan dengan tingginya penggunaan kendaraan pribadi. Tantangan pengembangan transportasi umum menjadi semakin kompleks karena kemudahan kepemilikan kendaraan pribadi, persaingan angkutan online yang belum mempunyai regulasi, pandemi COVID-19, tekanan fiskal, dan kenaikan harga BBM. Satu hal yang dapat menjadi solusi adalah penataan jaringan trayek, pemberian subsidi dengan mekanisme Buy the Service, membangun infrastruktur terintegrasi, dan pemberlakuan tiket cashless. Harapannya adalah memberi pilihan yang menarik bagi pengguna moda transportasi umum dengan tarif yang terjangkau.

Ferry Hermawan dkk menjelaskan mengenai peran strategis basecamp proyek jalan luar kota dalam aspek pengambilan keputusan. Akibat adanya persoalan multivariate pada pengambilan keputusan, risiko yang harus diambil perusahaan kontraktor di awal persiapan proyek memunculkan biaya dengan variabel ketidakpastian yang tinggi. Basecamp sebagai tempat penyiapan sumberdaya pendukung utama proyek jalan luar kota, pemilihan lokasinya akan mempengaruhi biaya awal proyek dan teknik pelaksanaannya dari quarry hingga project site. Aspek teknis dan non teknis secara simultan harus menjadi pertimbangan pada setiap perencanaan pemilihan lokasi Basecamp. Learning process dari proses pemilihan lokasi berbasis data historis ditawarkan pada Bab 8 ini.

Sebagai Bab penutup, Ismiyati dkk membahas pengembangan jalur trem sebagai upaya transportasi ramah lingkungan yang menghubungkan kawasan Kota Lama dan Lawangsewu di Kota



Semarang. Peningkatan aksesibilitas antara kawasan wisata tersebut perlu dilakukan dengan menerapkan Transport Oriented Development dan memaksimalkan penggunaan angkutan umum. Metode dalam pengembangan trem dilakukan dengan analisis demand dan geometrik jalan untuk menentukan model trem yang sesuai serta analisis BOK untuk penentuan tarif bagi penumpang. Hasil analisis bahwa model Trem Siemens Avenio Trem Doha Qatar cocok diterapkan dengan besaran tarif penumpang sebesar Rp1.000,00/km/orang. Penerapan jalur trem pada wisata heritage sebagai transportasi ramah lingkungan dipandang sangat diperlukan.

Buku ini diharapkan dapat memberikan wawasan pengetahuan kepada para pembaca tentang infrastruktur dan lingkungan terbangun berkelanjutan. Buku ini diharapkan menjadi sumbangsih nyata dari para ahli berbagai bidang di Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro dalam rangka menjelaskan berbagai permasalahan dan memberikan solusi atas berbagai permasalahan yang dihadapi oleh bangsa Indonesia.

Editor



# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>Batas Sistem Perhitungan Energi Pada Proyek Konstruksi</b> Jati U. D. Hatmoko, Lendra, dan Mochamad A. Wibowo .....	1
<b>Water Sensitive Urban Design Sebagai Konsep Lingkungan</b> <b>Terbangun Berkelanjutan</b> Desyta Ulfiana, Novia S. Ristianti, Nurhadi Bashit, dan Nailly S. Zain .....	19
<b>Prinsip Kebijakan <i>Zero Delta Q</i> Dalam Suatu Kawasan</b> Hary Budienny dan Dwi Kurniani .....	41
<b>Menjaga Fungsi Waduk Dengan Modifikasi Infrastruktur</b> Dyah A. Wulandari, Lina D. Damayanti, Dian Swastika, Ricky Zefri, Bramantyo Herawanto, dan Muhammad F. Maulana .....	71
<b>Penggunaan Sistem Perkuatan Frp Pada Beton Bertulang</b> <b>Sebagai Upaya Peningkatan Kapasitas Struktur</b> <b>Berkelanjutan</b> Banu A. Hidayat, Bobby R. Indriyantho, dan Lena T. Lestari.....	95
<b>Penggunaan Beton Geopolimer Sebagai Material Konstruksi</b> <b>Yang Berkelanjutan</b> Bobby R. Indriyantho, Banu A. Hidayat, dan Rydell Riko .....	111
<b>Tantangan Dan Harapan Pengembangan Transportasi</b> <b>Umum Perkotaan</b> Kami H. Basuki dan Mulyadi .....	131



**Peran Strategis Basecamp Proyek Jalan Luar Kota  
Dalam Aspek Pengambilan Keputusan**

Ferry Hermawan, Eko Yuniyanto, dan Nuroji..... 149

**Pengembangan Jalur Trem Sebagai Jalur Wisata Kota  
Lama-Lawangsewu Dalam Rangka Menuju Transportasi  
Ramah Lingkungan**

Ismiyati, Eko Yulipriyono, Fairuz Adibah, dan  
Maghfira S. P. Tolat ..... 177





# BATAS SISTEM PERHITUNGAN ENERGI PADA PROYEK KONSTRUKSI

Jati U. D. Hatmoko<sup>1</sup>, Lendra<sup>2,3</sup>, dan Mochamad A. Wibowo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya, Indonesia

## 1. Pendahuluan

Energi dan masalah terkaitnya menjadi perhatian dunia, menurut The International Energy Agency pada tahun 2011, terkait energi total pasokan energi primer mencapai rekor tertinggi historis sebesar 13.113 juta ton setara batubara (Mtce), melepaskan 31.342 juta ton emisi CO<sub>2</sub>, yang dianggap sebagai penyebab utama dari pemanasan global (Zhang et al., 2018). Penggunaan energi dunia yang berkembang sangat pesat telah meningkat kekhawatiran terhadap kesulitan pasokan, habisnya sumber daya energi dan dampak lingkungan yang ditimbulkan seperti: penipisan lapisan ozon, pemanasan global, perubahan iklim, dan lain-lain. Badan Energi Internasional juga telah merilis *trend* konsumsi energi untuk dari tahun 1984 sampai dengan 2004, dimana konsumsi energi primer telah tumbuh sebesar 49% dan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 43%, dengan rata-rata peningkatan tahunan masing-masing sebesar 2% dan 1,8%. Prediksi menunjukkan bahwa *trend* pertumbuhan ini akan terus berlangsung, dimana penggunaan energi di negara-negara ekonomi berkembang seperti di Asia Tenggara, Timur Tengah, Amerika Selatan dan Afrika, akan tumbuh dengan rata-rata tahunan sebesar 3,2% dan pada tahun 2020 akan melampaui negara-negara maju seperti: Amerika Utara, Eropa Barat, Jepang, Australia dan Selandia Baru, dengan tingkat pertumbuhan rata-rata 1,1% (Pérez-Lombard et al., 2008).



Masalah energi dan lingkungan telah dianggap sebagai masalah besar secara global atas dasar itu Laporan World Oil Outlook 2015, diperkirakan bahwa permintaan energi global akan meningkat 49% dari 2013 hingga 2040. Khusus untuk negara-negara berkembang, bahan bakar fosil diperkirakan akan terus mendominasi sebagai sumber permintaan energi primer. Meningkatnya produksi bahan bakar fosil terbatas dan tidak terbarukan mempercepat penipisan sumber daya bahan bakar fosil. Mengenai berapa lama sumber daya yang tidak terbarukan dapat terus digunakan untuk memenuhi permintaan energi yang semakin meningkat dengan harga yang rendah telah menjadi perhatian dunia. Ditambah lagi dengan kerusakan yang parah dan menyebabkan perubahan lingkungan yang tidak dapat dipulihkan), termasuk pemanasan global, perubahan pola curah hujan, dan kenaikan permukaan laut akibat besarnya volume emisi karbon dioksida (Zeng & Chini, 2017). Perkembangan ekonomi dan teknologi mempengaruhi konsumsi energi, dan produksi energi berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan serta konsumsi sumber daya yang tidak terbarukan. Proyeksi menunjukkan bahwa pada tahun 2030 konsumsi energi dunia akan meningkat sebesar 50% dibandingkan dengan konsumsi saat ini, yang menyiratkan perlunya keberlanjutan energi (Androjić et al., 2020)

Industri konstruksi, bersama dengan industri pendukungnya, adalah salah satu pengeksplorasi sumber daya alam terbesar, baik yang terbarukan maupun yang tidak terbarukan, yang berdampak negatif dan mengubah lingkungan bumi. Industri ini menghabiskan dua perlima dari batu alam global, kerikil, dan pasir dan seperempat dari kayu hutan dunia, dan mengkonsumsi 40% dari total energi serta 16% air setiap tahun Penggunaan energi berlangsung dari proses pengambilan material alam, proses material, pengangkutan hingga menjadi bahan struktur dan *finishing* bangunan (M. K. Dixit et al., 2010). Diperkirakan 40% dari total konsumsi energi di seluruh dunia dihasilkan dari industri bangunan dan konstruksi (Dixit et al., 2013). Industri konstruksi merupakan salah satu pengguna energi terbesar di antara industri yang lain. Berdasarkan data yang dirilis BPS pada tahun 2013-2017, konsumsi akhir energi di Indonesia pada sektor industri dan konstruksi menempati urutan pertama terbesar rata-rata



sebesar 33.52% per tahun dari kebutuhan energi total nasional, diikuti oleh sektor transportasi dan rumah tangga (Subdirektorat Statistik Pertambangan dan Energi, 2018).

Industri konstruksi adalah pemain kunci dalam konsumsi energi total, dimana desain dan konstruksi bangunan harus dilaksanakan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (C. Z. Li et al., 2020; Marzouk & Elshaboury, 2022). Energi bangunan menyumbang lebih dari 40% penggunaan energi global, dan emisi gas rumah kaca (GRK) menyumbang 40%–50% dari energi global, sehingga menjadikannya pemain kunci dalam energi (C. Z. Li et al., 2020). Bangunan dikaitkan dengan dua jenis konsumsi energi, energi yang terkandung dan energi operasional. Energi yang terkandung mencakup semua energi yang dikonsumsi sebelum fase operasi bangunan yaitu energi yang dikonsumsi selama pembuatan, transportasi, dan konstruksi bahan (Zhang et al., 2018).

## 2. Pengertian Energi

Banyak studi penelitian telah berfokus pada pengurangan energi operasional dalam beberapa dekade terakhir. Akibatnya, proporsi energi yang terkandung dalam siklus hidup penggunaan energi bangunan mengalami peningkatan (Marzouk & Elshaboury, 2022). Energi yang terkandung dan energi pengoperasian adalah dua komponen utama dari energi siklus hidup bangunan. Energi yang terkandung didefinisikan sebagai total energi yang dikonsumsi untuk membangun, memelihara, dan hingga membongkar/menghancurkan bangunan, termasuk energi langsung dan tidak langsung (C. Z. Li et al., 2020). Energi operasional mencakup konsumsi energi yang digunakan untuk pengoperasian bangunan misalnya untuk melakukan pemanasan dan pendinginan bangunan (Schmidt & Crawford, 2018).

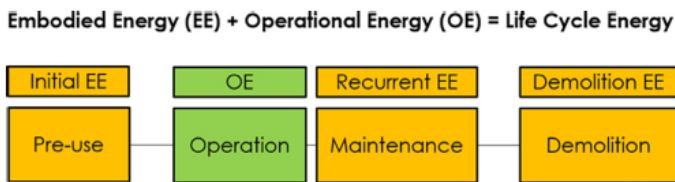
Menurut Dixit *et al.*, (2010) total energi siklus hidup suatu bangunan mencakup energi yang diwujudkan dan energi pengoperasian:

- a) Energi yang terkandung (*Embodied Energy/EE*): energi yang diperlukan dalam bahan bangunan selama semua proses produksi, konstruksi di tempat, dan pembongkaran dan pembuangan akhir; dan



- b) Energi pengoperasian (*Operational Energy/OE*): energi yang dikeluarkan untuk memelihara lingkungan dalam melalui proses seperti pemanasan dan pendinginan, penerangan dan peralatan yang beroperasi.

Definisi ini mempertimbangkan semua aliran energi hulu dan hilir dalam siklus hidup bangunan kecuali energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan bangunan, seperti dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



*Sumber: Azari & Abbasabadi, 2018*

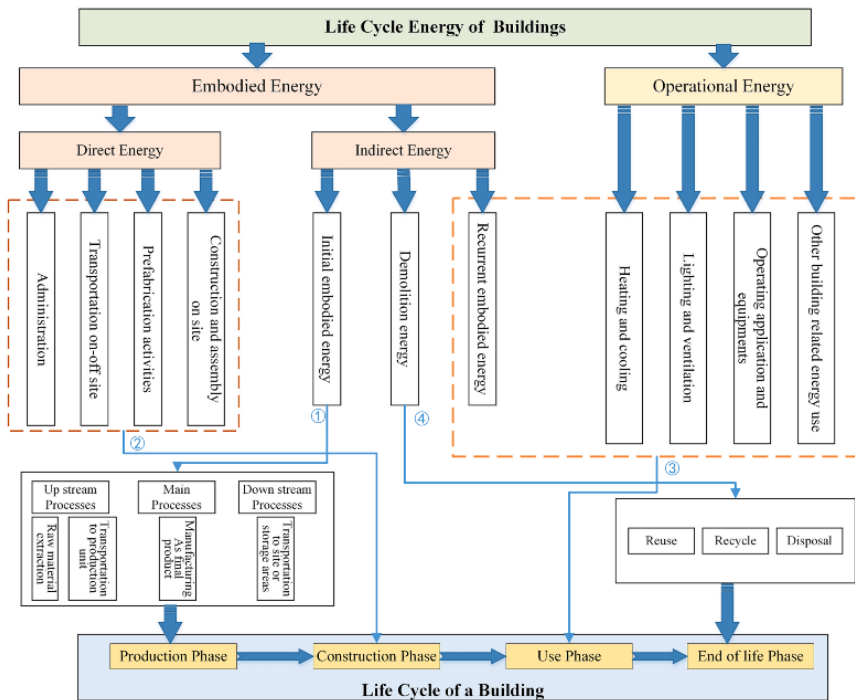
**Gambar 1. Siklus hidup penggunaan energi bangunan adalah penjumlahan dari EE dan OE**

### 3. Energi Terkandung (*Embodied Energy*)

Crowther, (1999) mendefinisikan energi tertanam sebagai “energi total yang diperlukan dalam penciptaan bangunan, termasuk energi langsung yang digunakan dalam proses konstruksi dan perakitan, dan energi tidak langsung, yang diperlukan untuk memproduksi bahan dan komponen bangunan.” Cole dan Kernan (1996) dalam Ding (2004) menjelaskan bahwa “energi yang terkandung menyatukan energi untuk mengkonsumsi ekstraksi dan pemrosesan bahan baku, pengangkutan bahan baku asli, pembuatan bahan bangunan dan komponen dan penggunaan energi untuk berbagai proses selama konstruksi dan pembongkaran bangunan (Dixit *et al.*, 2010; Dixit *et al.*, 2014). Istilah energi yang terkandung mengacu pada total energi yang tertanam dalam produk yang diproduksi melalui semua produk dan proses yang digunakan dalam pembuatan, pemeliharaan, dan pembuangannya (M. K. Dixit, 2019). Energi yang terkandung merupakan 4%–52% dari energi siklus hidup untuk bangunan konvensional, 9%–50% untuk bangunan retrofit,



19%–60% untuk bangunan dengan penggunaan energi rendah, dan 18%–77% untuk bangunan pasif (Dilsiz et al., 2019).



Sumber: C. Z. Li et al., 2020

**Gambar 2. Kerangka siklus hidup energi bangunan**

Secara keseluruhan, bangunan menggunakan dua jenis konsumsi energi seperti dapat dilihat pada Gambar 2, dari ekstraksi bahan baku hingga dekonstruksi dan pembuangan (Dixit et al., 2010; Dixit et al., 2012) yaitu:

a) Energi langsung (*direct energy*)

Energi langsung dikonsumsi dalam berbagai operasi di lokasi dan di luar lokasi seperti konstruksi, prefabrikasi, transportasi, dan administrasi (Dixit et al., 2010; Dixit et al., 2012). Energi langsung yang terkandung dalam suatu bangunan mencakup semua energi yang dikonsumsi secara langsung di semua proses konstruksi, transportasi, manajemen di tempat dan di luar lokasi dan komponen energi yang diwujudkan secara langsung, yang terutama terkait dengan tahap



konstruksi. Mayoritas energi langsung dikonsumsi dalam pengaturan manajemen di tempat, mengoperasikan peralatan dan peralatan konstruksi, dan mengangkut tenaga kerja, material, dan peralatan konstruksi ke lokasi kerja (Dixit *et al.*, 2012; Dixit, 2017).

b) Energi tidak langsung (*indirect energy*)

Energi tidak langsung sebagian besar digunakan selama pembuatan bahan bangunan, dalam proses utama, proses hulu dan proses hilir dan selama renovasi, perbaikan, dan pembongkaran (Dixit *et al.*, 2010; Dixit *et al.*, 2012). Energi berwujud tidak langsung dikonsumsi melalui penggunaan bahan, rakitan, peralatan, dan lain-lain. Dipasang di gedung, masing-masing menggunakan energi selama pembuatan dan pengiriman ke lokasi kerja. Energi yang dikonsumsi dalam pembuatan bahan bangunan, dalam proses renovasi, perbaikan, dan demolisasi bangunan. Ini termasuk energi awal yang diwujudkan, energi yang diwujudkan berulang dan energi penghancuran. Energi perwujudan awal dikonsumsi selama produksi bahan dan komponen dan termasuk pengadaan bahan baku, pembuatan bahan bangunan dan pengiriman produk jadi (transportasi) ke lokasi konstruksi. Energi berwujud berulang digunakan dalam berbagai perawatan dan proses perbaikan selama masa manfaat bangunan. Energi pembongkaran dikeluarkan dalam proses dekonstruksi dan pembuangan bahan bangunan (Dixit *et al.*, 2012; Dixit, 2017).

#### 4. Energi Operasional

Energi yang dikeluarkan untuk memelihara lingkungan dalam melalui proses seperti pemanasan dan pendinginan, penerangan dan pengoperasian peralatan bangunan (M. K. Dixit *et al.*, 2012). Energi operasional didefinisikan juga sebagai energi yang digunakan setelah konstruksi setelah bangunan ditugaskan dan ditempati (Iddon & Firth, 2013). Pada bangunan gedung, energi pengoperasian digunakan dalam pengkondisian ruang, pemanasan, penerangan, dan menyalakan peralatan bangunan (M. K. Dixit, 2017), menurut hasil penelitian energi operasional merupakan hampir 80% dari keseluruhan energi siklus hidup di bangunan tempat tinggal (S. Li *et al.*, 2021).



Energi operasional adalah energi yang dikonsumsi selama periode berjalan bangunan, seperti beban pemanasan dan pendinginan, beban penerangan, beban pasang, dan beban alat lainnya (Zeng & Chini, 2017). Energi operasional bertambah selama masa pakai efektif bangunan. Konservasi energi operasional dapat dicapai secara lebih optimal dengan peralatan yang efisien energi dan bahan isolasi canggih (M. K. Dixit et al., 2010). Pada jalan bebas hambatan, periode operasional secara jangka panjang lebih banyak mengkonsumsi, dan lebih bervariasi, dibandingkan dengan periode konstruksi dan daur ulang. Oleh karena itu sangat penting untuk mempelajari konsumsi energi pada periode ini, untuk mengevaluasi konsumsi energi terkait transportasi, terutama yang terkait dengan pengoperasian harian dan pengelolaan jalan raya (D. Q. Li & Wang, 2016).

## 5. Metode Perhitungan *Embodied Energy*

Ada tiga metode yang umum digunakan untuk menghitung energi yang diwujudkan/terkandung (*embodied energy*):

- a) Berbasis proses,
- b) Berbasis *input-output* (IO), dan
- c) Berbasis *hybrid*.

Masing-masing dari tiga metode memiliki keterbatasan berdasarkan pada jenis dan ketersediaan data yang digunakannya. Karena ketiga metode ini juga berbeda dalam hal masing-masing batas sistem yang mencakup masukan energi, sehingga hasilnya tidak dapat dibandingkan (M. K. Dixit et al., 2015).

Perhitungan energi yang terkandung (*embodied energy*) berdasarkan proses adalah pendekatan *bottom-up*, yang dimulai dengan bahan bangunan sebagai produk akhir dan bergerak mundur (hulu) untuk memasukkan sebanyak mungkin input energi langsung dan tidak langsung. Sebagian besar data penggunaan energi langsung berasal dari pabrik material (M. K. Dixit et al., 2015). Dalam proses penilaian siklus hidup, data proses digunakan untuk menyusun inventaris siklus hidup suatu produk. Data yang diterapkan dalam penilaian siklus hidup proses dapat dikumpulkan langsung dari basis



data inventaris siklus hidup atau sumber data lain yang dianggap mewakili proses tertentu (Abanda et al., 2013).

Penilaian siklus hidup *input-output* adalah metode *top-down* untuk menganalisis intervensi lingkungan dari produk dari *cradle-to-gate* berdasarkan analisis *input output* lingkungan (Abanda et al., 2013). Kalkulasi energi berwujud berbasis IO menggunakan akun IO nasional, yang menyediakan aliran barang dan jasa dalam satuan moneter di antara berbagai sektor industri. Akun IO nasional diterbitkan secara berkala di tingkat ringkasan atau terperinci. Untuk menghitung energi yang diwujudkan, matriks kuadrat dari koefisien kebutuhan langsung digunakan, yang menyajikan input yang langsung diperlukan untuk menghasilkan unit output untuk sektor industri tertentu. Persyaratan langsung disertai dengan persyaratan tidak langsung (M. K. Dixit et al., 2015).

Dalam penilaian siklus hidup *hybrid*, kombinasi proses, *input-output* sektoral dan data akun lingkungan digunakan. Metode ini dirancang untuk mengoptimalkan manfaat dari inpute output dan proses analisis metode dan untuk menghilangkan atau meminimalkan kesalahan dan keterbatasan yang melekat dalam kedua proses (Abanda et al., 2013). Ada dua jenis analisis *hybrid*:

- a) Berbasis proses dan
- b) Berbasis Input-Output (IO).

Dalam analisis hibrida berbasis proses, kerangka dasar tetap berbasis proses, untuk meningkatkan kelengkapannya, data IO dimasukkan ke dalam kerangka kerja (M. K. Dixit et al., 2015). Analisis hibrida berbasis proses mengasimilasi analisis berbasis input-output ke bagian kompleks dari proses hulu produksi material dan dengan demikian menyingkirkan ketidaklengkapan yang melekat dalam analisis proses. Namun, bahan kompleks, yang melibatkan lebih dari satu bahan, dapat menimbulkan masalah untuk metode ini (Abanda et al., 2013).

Dalam analisis hibrida berbasis IO, data proses penggunaan energi langsung dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam kerangka kerja berbasis IO (M. K. Dixit et al., 2015). Analisis hibrida berbasis *input-output* menggabungkan identifikasi dan ekstraksi jalur energi langsung dari analisis berbasis input-output untuk mengintegrasikan



data berbasis proses yang andal dan akurat untuk menghindari efek tidak langsung. Ketidaklengkapan atau kesalahan dalam perhitungan dan analisis energi yang diwujudkan adalah sekitar 20% dan karenanya tidak ada metode yang tersedia yang sepenuhnya efisien. Namun, analisis hibrida *input-output* dianggap lengkap dan hampir sempurna dalam analisis siklus hidup bangunan (Abanda et al., 2013).

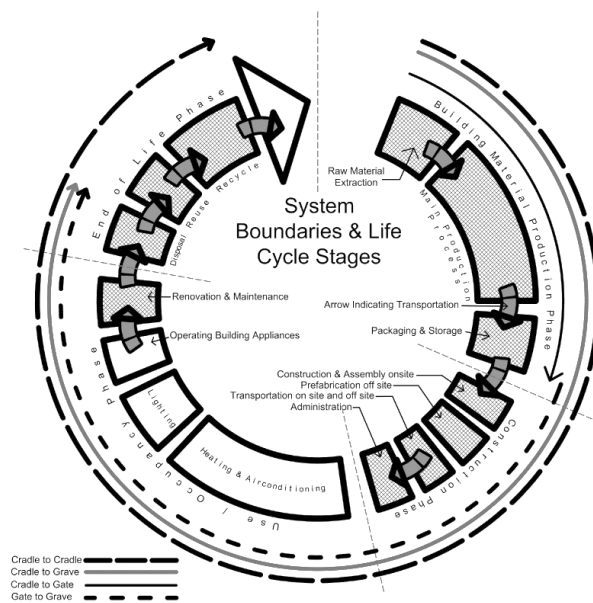
## 6. Batas Sistem Perhitungan *Embodied Energy*

Batas sistem menggambarkan secara skematis produk dan proses yang digunakan dalam pembuatan suatu produk yang sedang dipelajari. Batas sistem juga membatasi input energi dan material yang tercakup dalam perhitungan energi yang diwujudkan. Batas sistem bangunan dapat mencakup tahap hulu yang jauh seperti ekstraksi bahan baku hingga tahap hilir seperti dekonstruksi dan pembuangan bahan. Di antara definisi batas sistem yang umum diterapkan termasuk "*cradle to gate*," "*cradle to site*," dan "*cradle to grave*." Batas sistem *cradle to gate* mencakup semua tahap penambangan bahan baku hulu, penyempurnaan melalui tahap manufaktur utama dan pengemasan produk jadi. Definisi ini tidak termasuk transportasi bahan jadi ke lokasi konstruksi atau toko ritel, yang dicakup dalam buaian ke batas sistem situs. Tempat lahir (*cradle*) hingga batas lokasi juga mencakup proses konstruksi, instalasi, administrasi, pembuangan limbah di tempat dan di luar lokasi, dan lain-lain. Proses operasi gedung, pemeliharaan, perbaikan, renovasi, retrofit dicakup dalam batas sistem buaian sampai liang kubur (*cradle to grave system boundary*), selain aktivitas buaian ke lokasi.

Proses akhir pembongkaran, pemilahan dan pengangkutan limbah, penggunaan kembali dan daur ulang, dan pembuangan bahan juga tercakup di bawah buaian hingga batas makam. Batas buaian hingga liang kubur (*cradle to grave boundary*) menawarkan seluruh perhitungan energi yang diwujudkan berdasarkan siklus hidup yang penting untuk menciptakan lingkungan yang dibangun dengan energi nol atau karbon netral (M. K. Dixit, 2017). Gambar 3 menunjukkan dan menjelaskan *system boundaries* siklus hidup material bangunan, dengan kriteria sebagai berikut:



- a) *Cradle to grave*, ruang lingkup pada bagian ini dimulai dari *raw material* sampai pada pengoperasian produk.
- b) *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke gate sebelum proses operasi.
- c) *Cradle to grave* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat.
- d) *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material.



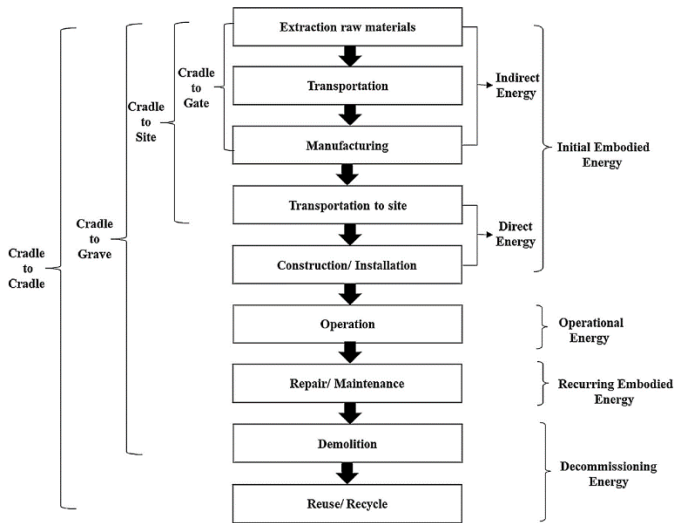
Sumber: M. K. Dixit et al, 2012

**Gambar 3. Batas sistem dan tahapan siklus hidup bangunan**

Lebih rinci, energi siklus hidup bangunan meliputi energi awal yang diwujudkan (*initial embodied energy*), energi operasional, energi yang diwujudkan berulang, dan energi penonaktifan. Gambar 4 menunjukkan konsumsi energi bangunan melalui periode siklus hidup empat batasan sistem ini. Energi awal yang diwujudkan adalah energi yang dikonsumsi dalam proses produksi suatu produk, mulai dari



ekstraksi bahan baku dan pemrosesan sumber daya alam hingga pembuatan dan pengangkutan suatu produk ke lokasi bangunan (Zeng & Chini, 2017).



Sumber: Zeng & Chini, 2017

#### Gambar 4. Konsumsi energi berdasarkan periode siklus hidup bangunan

Menurut (Cole, 1999) energi terkandung awal (*initial embodied energy*) terdiri dari energi langsung dan energi tidak langsung, yang digunakan untuk memproduksi, mengangkut, dan memasang komponen bangunan. Energi langsung adalah energi yang dikonsumsi dalam proses konstruksi bangunan, dan energi tidak langsung adalah energi konsumsi ekstraksi bahan baku dan pengangkutan dan pembuatan bahan bangunan dan produk. Energi operasional adalah energi yang dikonsumsi selama periode berjalan bangunan, seperti beban pemanasan dan pendinginan, beban penerangan, beban pasang, dan beban alat lain-lain. Energi termasuk energi yang diperlukan untuk memelihara dan memperbaiki bangunan selama periode berjalannya. Energi dekomisioning adalah energi yang dikonsumsi selama dekonstruksi/pembongkaran bangunan dan daur ulang/pembuangan bahan sisa/limbah. Gambar 4

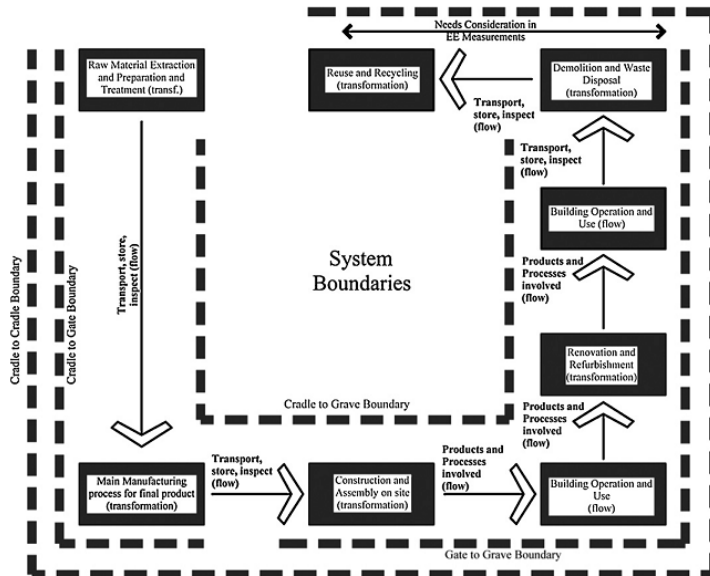


juga menggambarkan perbedaan fase-fase LCA dan proses-prosesnya termasuk. Misalnya, "cradle to gate" termasuk ekstraksi bahan baku, transportasi, dan proses pembuatan (Zeng & Chini, 2017).

## 7. Metode Perhitungan Konsumsi Energi

Berdasarkan Gambar 5, menurut Dixit *et al.*, (2010) energi pada proyek konstruksi termasuk dalam kategori *embodied energy* dan *direct energy*, hal ini mempengaruhi metode dan pola perhitungan energinya. Metode perhitungan konsumsi energi pada pekerjaan konstruksi secara garis besar terbagi menjadi 4 (empat) bagian yaitu:

- Pada pekerjaan penambangan dan produksi *raw material (extraction)*
- Pada pekerjaan proses produksi atau pengolahan *raw material* menjadi bahan bangunan dan jalan (*assembly/mixing*)
- Pada pekerjaan konstruksi bangunan dan jalan (*on site construction*)
- Pada kegiatan transportasi material (*off site* maupun *on site*)



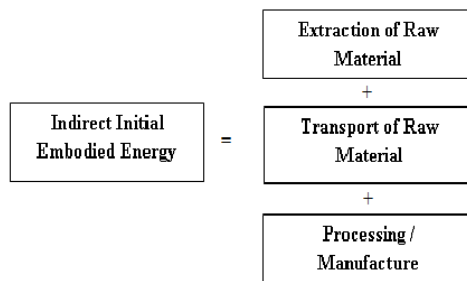
Sumber: M. K. Dixit *et al.*, 2010

**Gambar 5. Batas sistem dalam siklus hidup material bangunan**



Model matematika memiliki potensi untuk meningkatkan prediksi jumlah energi yang terkandung, gas rumah kaca, dan limbah dalam tahap desain proyek konstruksi. Namun, model saat ini digunakan dalam prediksi energi yang terkandung, gas rumah kaca dan limbah yang sangat terfragmentasi dan ada dalam isolasi. Juga, model-model ini tidak terkait dengan model manajemen proyek konstruksi konvensional seperti waktu dan biaya. Ini adalah tantangan dalam arti bahwa variasi waktu dan biaya proyek konstruksi tidak selalu mengarah pada prediksi energi yang terkandung, gas rumah kaca dan limbah pada tahap desain proyek konstruksi. Tantangan dalam pengembangan model matematika holistik untuk perhitungan energi yang terkandung, gas rumah kaca dan limbah telah disorot. Sebagai bagian dari pekerjaan di masa depan, pengembangan model matematika holistik untuk perhitungan energi yang terkandung, gas rumah kaca, limbah konstruksi, waktu dan biaya akan dilakukan (Abanda et al., 2013).

Energi awal yang diwujudkan memiliki dua komponen, yaitu, energi tidak langsung dan energi langsung. Energi tidak langsung adalah energi tak terbarukan yang dibutuhkan untuk mengekstraksi bahan baku, memproses dan memproduksinya. Energi langsung adalah energi yang diperlukan untuk mengangkut produk ke lokasi konstruksi dan membangun bangunan. Gambar 6 menunjukkan suatu contoh diagram blok dari perhitungan *indirect initial embodied energy* (Kassim & Santhi, 2016).



Sumber: (Kassim & Santhi, 2016)

**Gambar 6. Perhitungan indirect initial embodied energy**



## 8. Kesimpulan

Desain dan konstruksi bangunan harus dilaksanakan dengan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, mengingat industri konstruksi adalah pemain kunci dalam konsumsi energi. Total energi dalam siklus hidup suatu bangunan mencakup energi yang terkandung (*embodied energy*), energi pengoperasian (*operational energy*), *recurring embodied energy*, dan *decommissioning energy*. Batasan sistem siklus hidup bangunan ada empat, yaitu: *Cradle to grave*, *Cradle to gate*, *Cradle to grave* dan *Cradle to cradle* dimana masing-masing perhitungan konsumsi energi bangunan melalui dan besarnya tergantung pada siklus hidup bangunan berdasarkan empat batasan sistem ini.

## Referensi

- Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2013). Mathematical modelling of embodied energy, greenhouse gases, waste, time-cost parameters of building projects: A review. *Building and Environment*, 59, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.014>
- Androjić, I., Alduk, Z. D., Dimter, S., & Rukavina, T. (2020). Analysis of impact of aggregate moisture content on energy demand during the production of hot mix asphalt (HMA). *Journal of Cleaner Production*, 244, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118868>
- Azari, R., & Abbasabadi, N. (2018). Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. *Energy and Buildings*, 168, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.003>
- Cole, R. J. (1999). Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Building and Environment*, 34, 335–348.
- Crowther, P. (1999). Design for Disassembly to Recover Embodied Energy. *The 16th International Annual Conference On Passive And Low Energy Architecture*, 6. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(00\)00199-7](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(00)00199-7)
- Dilsiz, A. D., Felkner, J., Habert, G., & Nagy, Z. (2019). Embodied versus operational energy in residential and commercial buildings: Where should we focus? *Journal of Physics: Conference Series*,



- 1343(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012178>
- Ding, G. K. C. (2004). *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities*. [https://doi.org/10.1016/S1380-7323\(02\)80009-7](https://doi.org/10.1016/S1380-7323(02)80009-7)
- Dixit, M., Fernandez-Solis, J. L., Lavy, S., & Culp, C. (2014). *Protocol for Embodied Energy Measurement Parameters*. February.
- Dixit, M. K. (2017). Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(October 2016), 390–413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.051>
- Dixit, M. K. (2019). Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 731–754. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.230>
- Dixit, M. K., Culp, C. H., & Fernandez-Solis, J. L. (2015). Embodied energy of construction materials: Integrating human and capital energy into an IO-based hybrid model. *Environmental Science and Technology*, 49(3), 1936–1945. <https://doi.org/10.1021/es503896v>
- Dixit, M. K., Culp, C. H., & Fernández-Solís, J. L. (2013). System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.037>
- Dixit, M. K., Fernández-solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings : A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3730–3743. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.021>
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings Journal*, 42, 1238–1247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.016>
- Iddon, C. R., & Firth, S. K. (2013). Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK. *Energy and Buildings*, 67(2013), 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.041>



- Kassim, R., & Santhi, M. H. (2016). Basic Studies on Embodied Energy in Construction Materials. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 9(6), 6.
- Li, C. Z., Lai, X., Xiao, B., Tam, V. W. Y., Guo, S., & Zhao, Y. (2020). A holistic review on life cycle energy of buildings: An analysis from 2009 to 2019. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134(April), 110372. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110372>
- Li, D. Q., & Wang, D. Y. (2016). Decomposition analysis of energy consumption for an freeway during its operation period: A case study for Guangdong, China. *Energy*, 97, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.141>
- Li, S., Foliente, G., Seo, S., Rismanchi, B., & Aye, L. (2021). Multi-scale life cycle energy analysis of residential buildings in Victoria, Australia – A typology perspective. *Building and Environment*, 195(March 2021), 107723. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107723>
- Marzouk, M., & Elshaboury, N. (2022). Science mapping analysis of embodied energy in the construction industry. *Energy Reports*, 8, 1362–1376. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.049>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Schmidt, M., & Crawford, R. H. (2018). A framework for the integrated optimisation of the life cycle greenhouse gas emissions and cost of buildings. *Energy and Buildings*, 171, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.018>
- Subdirektorat Statistik Pertambangan dan Energi. (2018). *Neraca Energi Indonesia 2013-2017* (Subdirektorat Statistik Pertambangan dan Energi (ed.)). BPS-Statistics Indonesia. <https://www.bps.go.id/publication.html?Publikasi%5BtahunJudul%5D=2017&Publikasi%5BkataKunci%5D=energi&yt0=Tampilkan>
- Zeng, R., & Chini, A. (2017). A review of research on embodied energy of buildings using bibliometric analysis. *Energy and Buildings*, 155, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.025>
- Zhang, C., Nizam, R. S., & Tian, L. (2018). BIM-based investigation of total energy consumption in delivering building products. *Advanced Engineering Informatics*, 38, 370–380. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.08.009>



## PROFIL PENULIS



**Jati Utomo Dwi Hatmoko**, adalah staf pengajar pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Beliau menyelesaikan master dan doctoral bidang *Construction Management* di Newcastle University, Inggris. Bidang riset yang ditekuninya antara lain *Sustainable Construction, Construction 4.0, lean construction, supply chain management, Public Private Partnership (PPP)*, manajemen risiko dan. Riset beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal dan prosiding nasional dan internasional. Jati mendapatkan hibah dana penelitian nasional dan internasional antara lain dari Kementerian Riset dan Teknologi, Kementerian Pekerjaan Umum, Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi, Newton Fund dan NERC, Inggris. Penulis bisa dihubungi di [jati.hatmoko@ft.undip.ac.id](mailto:jati.hatmoko@ft.undip.ac.id)



**Lendra, ST., MT.** adalah mahasiswa Angkatan Tahun 2018 Program Doktor Teknik Sipil di Fakultas Teknik Program Studi Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Beliau merupakan alumni Sarjana (S1 lulus tahun 2001) dan Pasca Sarjana (S2 lulus tahun 2004) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra Surabaya dan saat ini bekerja sebagai Dosen Tetap (PNS) di Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya, sejak tahun 2005 s/d sekarang. Saat beliau ini sedang melakukan penelitian disertasi dengan konsentrasi riset di bidang Manajemen Rekayasa Konstruksi, dengan tema “Model Optimalisasi Energi Pada Pekerjaan Konstruksi Jalan”, beberapa penelitian beliau telah dipublikasi di prosiding nasional dan internasional serta beberapa jurnal nasional. Penulis dapat dihubungi di [lendraleman@jts.upr.ac.id](mailto:lendraleman@jts.upr.ac.id).





**Mochamad Agung Wibowo** adalah Guru Besar di bidang Manajemen Konstruksi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Keahlian dan riset yang ditekuninya mencakup supply chain management, sistem kualitas, manajemen proyek, manajemen risiko, pemodelan kinerja pendidikan tinggi, dan engineering education.

Selain itu, alumni Ph.D. Program of Construction Engineering, Nottingham University, UK tersebut juga aktif sebagai penulis di berbagai jurnal nasional dan internasional bereputasi, serta seminar internasional. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail berikut [agung.wibowo@ft.undip.ac.id](mailto:agung.wibowo@ft.undip.ac.id)





# **WATER SENSITIVE URBAN DESIGN SEBAGAI KONSEP LINGKUNGAN TERBANGUN BERKELANJUTAN**

**Desyta Ulfiana<sup>1</sup>, Novia S. Ristianti<sup>2</sup>, Nurhadi Bashit<sup>3</sup>,  
dan Naily S. Zain<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>3</sup> Departemen Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro, Indonesia

## **1. Pendahuluan**

Pembangunan adalah upaya untuk meningkatkan taraf hidup menjadi lebih baik. Kegiatan yang dilakukan dalam rangka pembangunan dapat meliputi berbagai aspek untuk meningkatkan kesejahteraan publik. Namun, tidak dapat disangkal bahwa pembangunan saat ini bukan hanya menimbulkan dampak positif, namun juga dampak negatif.

Pembangunan di perkotaan diiringi dengan peningkatan kepadatan penduduk. Peningkatan ini telah memberikan dampak secara negatif terhadap ketersediaan air. Akibat pembangunan perkotaan, terjadi peningkatan limpasan air hujan karena area penyerapan air hujan semakin berkurang. Hal ini dapat menyebabkan siklus air alami terganggu, menyebabkan masalah seperti banjir perkotaan, kekeringan, kualitas air yang buruk, dan berkurangnya aliran dasar yang bersumber dari air tanah di anak sungai (Radcliffe, 2018).

Krisis air dapat disebabkan oleh beberapa faktor lain, antara lain penggunaan lahan yang tidak mengindahkan konservasi air dan tanah, eksploitasi air yang berlebihan, lemahnya pelayanan PDAM, pergantian musim yang ekstrem, dan sebagainya. Data menunjukkan, sebagian kota-kota di dunia, sedang memasuki tahapan krisis sumber daya air, tidak terkecuali di Indonesia. Padahal, air merupakan



kebutuhan pokok bagi makhluk hidup. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan atau manajemen air yang dapat menjamin pemenuhan kebutuhan yang cukup dan berkelanjutan.

Manajemen air adalah upaya mengelola atau mengatur ketersediaan air yang ada di bumi agar dapat tetap bermanfaat bagi kehidupan manusia. Upaya mengelola ketersediaan air ini dapat dilakukan melalui pembangunan infrastruktur berkelanjutan, yang tidak hanya berfokus pada satu sudut pandang saja, tetapi memperhatikan seluruh aspek dari hulu ke hilir yang terdampak dari pembangunan infrastruktur tersebut.

Sebagai respon dari permasalahan krisis air dan fakta bahwa 40 persen populasi dunia terkena dampak kekurangan air, pemerintah juga telah menetapkan tujuan pembangunan berkelanjutan, yang salah satunya memuat *clean water and sanitation* sebagai tujuan SDGs nomor 6. Hal ini termasuk memastikan pasokan air bersih dan stabil serta sanitasi air yang efektif untuk semua orang pada tahun 2030, dengan pemanenan air, desalinasi, efisiensi air, pengolahan air limbah, teknologi daur ulang dan penggunaan kembali, agar kebutuhan akan air dapat tercukupi hingga generasi yang akan datang.

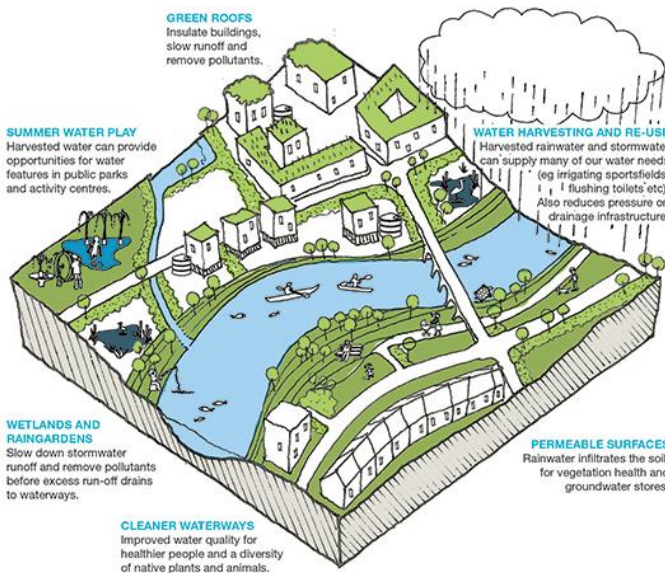
## **2. Water Sensitive Urban Design sebagai Konsep Infrastruktur Air Berkelanjutan**

Meskipun banyak perkotaan dibangun dekat dengan sungai, pantai, atau terintegrasi dengan sumber air lainnya, seringkali manajemen air tidak diperhatikan ke dalam desain atau infrastruktur di perkotaan. Pengelolaan air perkotaan telah dianggap sebagai tantangan dalam beberapa tahun terakhir. Selama ini, beberapa upaya telah dilakukan untuk mengelola kualitas air. Saluran dan pipa bawah tanah telah dianggap sebagai solusi utama. Namun, dengan semakin meningkatnya populasi dan permintaan akan air, dan dampak perubahan iklim, sistem pengelolaan air tradisional mulai menghadapi tantangan. Sebagai upaya alternatif dalam manajemen air berkelanjutan di perkotaan, mulai diperkenalkan konsep *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*.





Bagaimana konsep *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) bekerja? Dalam konsep ini, manajemen siklus air terintegrasi dengan perancangan kota. WSUD bekerja dengan melindungi sistem yang alami salah satunya adalah sistem air alami melalui pengembangan kota, melindungi kualitas air dan meningkatkan kualitas sistem pengairan air, mengurangi aliran air dengan cara mengalirkan limpasan air baik air hujan maupun limbah dan mengintegrasikannya ke lanskap, memanfaatkan limpasan air untuk berbagai macam kebutuhan, dan sebagainya.



Sumber: Bevington et al., 2013

## Gambar 2. Penerapan Water Sensitive Urban Design (WSUD) di Perkotaan

Negara yang cepat menyadari pentingnya manajemen air adalah Australia. Australia adalah benua berpenghuni terkering di dunia yang memiliki kurang dari 1 persen sumber daya air tawar yang tersedia di dunia (Bird et al., 2016). Menanggapi situasi ini, *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) diterapkan di Australia. Terlepas dari statusnya sebagai benua berpenghuni terkering di dunia, penduduk



kota Australia menikmati persediaan air yang andal dan berlimpah hingga saat ini. Konsep serupa mengenai manajemen air diterapkan di negara lain, seperti *Low Impact Development (LID)* di AS, *Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)* di Inggris dan *Sponge Cities* di Cina, sebagai adaptasi dan strategi mitigasi yang meningkatkan ketahanan kota (Li et al., 2018).

Sistem WSUD dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan lokasi atau skala implementasinya (Sharma et al., 2018), yaitu: 1) Pendekatan WSUD skala rumah tangga dan lanskap jalan dan 2) Pendekatan WSUD skala pembangunan perkotaan. Pendekatan pertama yaitu WSUD dalam skala rumah tangga dan lanskap jalan dapat diterapkan melalui berbagai sistem atau teknik, seperti tangki hujan, *rain gardens*, perkerasan berpori, strip filter bervegetasi, cekungan/parit resapan, saringan pasir, sistem bioretensi, taman, dan sebagainya. Sedangkan, penerapan WSUD dalam skala yang lebih besar, pembangunan perkotaan, dapat diterapkan dengan perangkat polutan kotor, cekungan tahanan, kolam dan danau skala perkotaan, cekungan sedimentasi, *constructed wetlands*, lahan basah bawah permukaan, waduk, dan sebagainya.

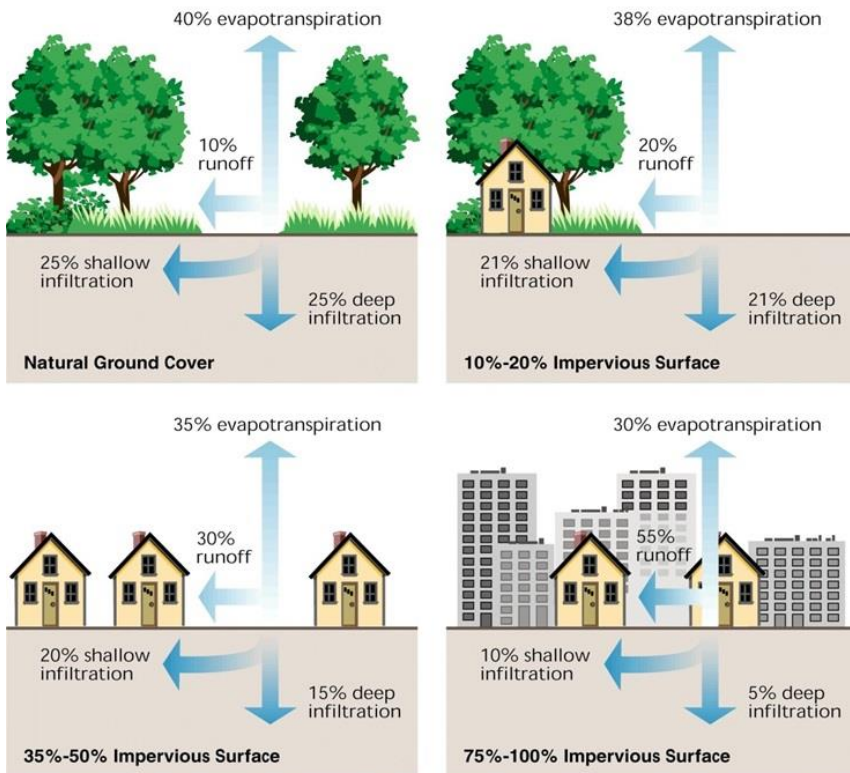
### 3. Siklus Manajemen Stormwater dalam Water Sensitive Urban Design

*Stormwater* merupakan kelebihan curah hujan yang menjadi limpasan dari permukaan tanah seperti bangunan, area beraspal, jalan, dan ruang terbuka. Air atap adalah komponen air hujan yang dihasilkan dari atap bangunan sebelum mencapai tanah dan bercampur dengan sumber air hujan lainnya. Kelebihan curah hujan tersebut dapat ditangkap dan disimpan untuk kemudian dimanfaatkan kembali dalam skala rumah tangga atau komunitas. Proses penangkapan ini disebut dengan *stormwater harvesting*. Dalam strategi WSUD yang lebih luas, *stormwater harvesting* memberikan manfaat yang jauh lebih besar daripada sekadar menjadi sumber pasokan air (Hamlyn-Harris et al., 2018).

Pada perkotaan yang tidak mengintegrasikan manajemen air dengan desain perkotaan, *stormwater* atau kelebihan curah hujan akan lebih banyak mengalami *runoff* dibandingkan terserap menjadi



persediaan air atau dimanfaatkan kembali. Hal ini dapat terjadi karena tingginya persentase *built-up area* dan minimnya area resapan di perkotaan. Urbanisasi meningkatkan proporsi permukaan kedap air, sehingga menyebabkan tingginya laju dan volume limpasan air (Ligtenberg, 2017). *Stormwater* yang mengalami *runoff* kemudian meningkatkan risiko banjir, kekurangan pasokan air, polusi air, dan sebagainya.



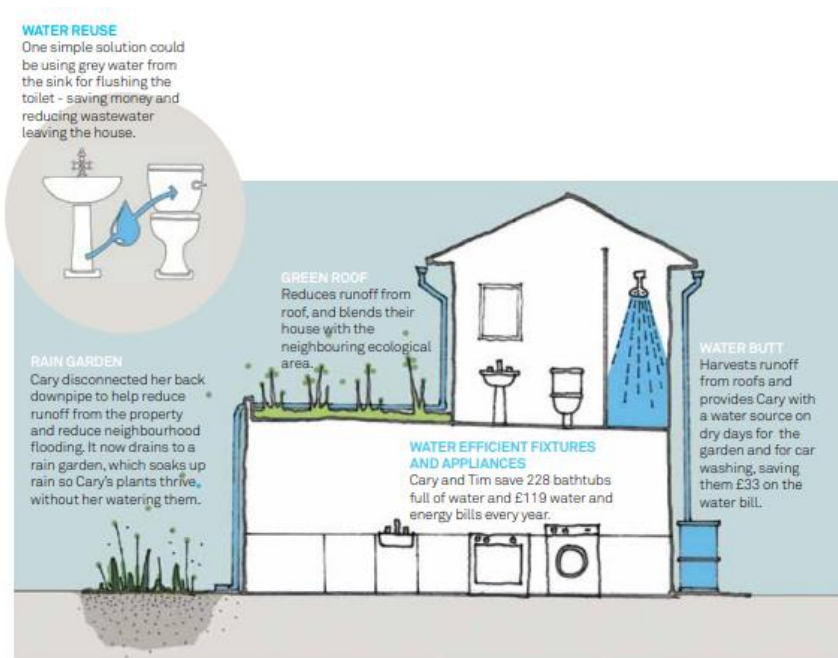
Sumber: FISRWG, 1998

**Gambar 3. Ilustrasi Siklus Stormwater**

Dalam penerapan konsep *Water Sensitive Urban Design*, *stormwater* diperhatikan dengan baik. WSUD mendesain kota dengan mempertimbangkan penggunaan kembali air hujan dengan meniru siklus air alami semirip mungkin. Misalnya, dengan implementasi *rain gardens*, *green roofs*, *water butt*, dan sebagainya. *Stormwater* yang



telah disimpan tersebut kemudian dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai kebutuhan, seperti penyiraman atau irigasi ruang terbuka publik, lapangan bermain, penyiraman taman, pembilasan toilet, pasokan cucian, cadangan air panas, pasokan air untuk pemadam kebakaran, *groundwater recharge*, dan sebagainya (Department of Environment and Conservation, 2006). Sebagai contoh, *stormwater* disimpan dalam tangki air dapat sewaktu-waktu digunakan untuk keperluan mencuci mobil maupun menyiram toilet dan taman terutama saat cuaca kering.



Sumber: Bevington et al., 2013

**Gambar 4. Manajemen Stormwater dalam Skala Rumah Tangga**

#### 4. Penilaian Lokasi Treatment Water Sensitive Urban Design

Implementasi konsep *Water Sensitive Urban Design* memerlukan banyak pertimbangan yang penting untuk diperhatikan, seperti ukuran, jenis, jumlah, lokasi komponen, dan bagaimana mengintegrasikan seluruh komponen tersebut. Untuk mengintegrasikan konsep WSUD dengan lingkungan perkotaan



setempat, diperlukan prakiraan ruang/lahan yang tersedia untuk pelaksanaan WSUD pada skala tertentu, dan perlu identifikasi yang sesuai dari teknologi WSUD untuk kerangka perencanaan (Nunes et al., 2011).

Di sisi lain, terdapat pula kendala-kendala seperti biaya, ketersediaan lahan, masalah perencanaan dan batasan hukum. Banyaknya kombinasi pertimbangan dalam implementasi konsep WSUD tentu membutuhkan banyak pertimbangan untuk menemukan desain yang mencapai hasil terbaik (City of Melbourne, 2006). Hal ini semakin dipersulit dengan kebutuhan untuk mempertimbangkan dampak perubahan iklim, serta perubahan penggunaan lahan dan kegiatan lain di daerah perkotaan.

Pendekatan tradisional untuk desain sistem WSUD melibatkan seorang profesional berpengalaman yang akan melakukan langkah-langkah berikut (Dandy et al., 2018):

1. Mengidentifikasi tujuan, sasaran, dan kriteria evaluasi skema (misalnya, biaya, persentase penghilangan polutan tertentu, volume yang tertahan di lokasi, volume panen)
2. Pilih skala di mana skema akan beroperasi
3. Buat pilihan awal komponen yang akan digunakan dan tata letak komponen ini
4. Lakukan perhitungan (mungkin menggunakan spreadsheet) untuk mendapatkan perkiraan awal dari ukuran dan kapasitas masing-masing komponen
5. Siapkan simulasi rinci dari desain awal menggunakan paket simulasi (atau spreadsheet) dan data masukan untuk periode desain yang dipilih (termasuk curah hujan, penguapan, pencucian polutan, tingkat penyisihan dan retensi, dan operasi terpilih aturan untuk sistem)
6. Jalankan model simulasi untuk menentukan apakah desain awal mencapai tingkat kriteria evaluasi yang memuaskan
7. Jika kinerja desain tidak memuaskan, modifikasi desain dan kembali ke Langkah 5, jika memuaskan lanjutkan ke Langkah 8
8. Dokumentasikan desain yang dipilih dan tunjukkan kepada klien



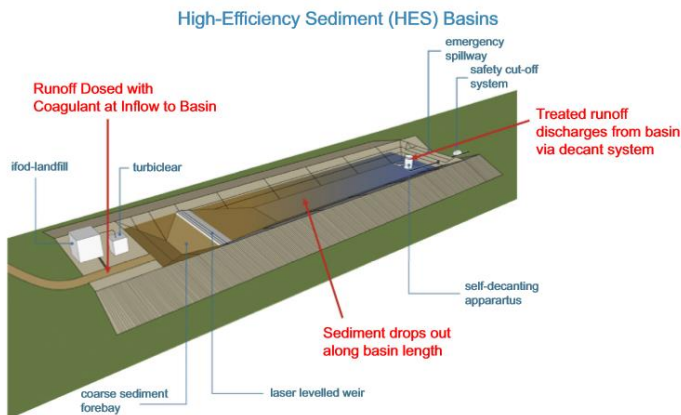
Beberapa pertimbangan lain yaitu lokasi, dapat dibantu dengan alat yang memberikan jawaban spasial, misalnya, menggunakan data sistem informasi geografis untuk membantu memilih lokasi dalam suatu daerah tangkapan untuk menempatkan BMP.

## 5. Elemen Water Sensitive Urban Design dalam Manajemen Stormwater Perkotaan

*Water Sensitive Urban Design* telah menjadi konsep yang menunjukkan keberhasilan dalam pengelolaan atau manajemen *stormwater* perkotaan. Setidaknya, terdapat beberapa elemen desain yang dapat diimplementasikan ke dalam konsep WSUD, di antaranya adalah:

### 1. *Sediment basins*

*Sediment basins* adalah suatu daerah cekungan dengan endapan mineral tertentu seperti batuan sedimen. Pembangunan *sediment basins* bertujuan untuk menampung air limpasan dan memungkinkan padatan dibuang dari air limpasan, sehingga turut membantu mengendalikan degradasi lingkungan (Perez et al., 2019).



Sumber: Hoban, 2018

Gambar 5. Ilustrasi *Sediment Basins*

## 2. *Bioretention basins*

*Bioretention basins* juga dikenal dengan *rain gardens* atau taman hujan (Hoban, 2018). Elemen ini beroperasi dengan proses pengolahan yang sama dengan sengkedan, namun tidak termasuk fungsi angkut. *Bioretention basins* dirancang untuk memungkinkan air menggenang sementara di dalam cekungan sebelum meresap melalui vegetasi dan media filter menuju pipa.

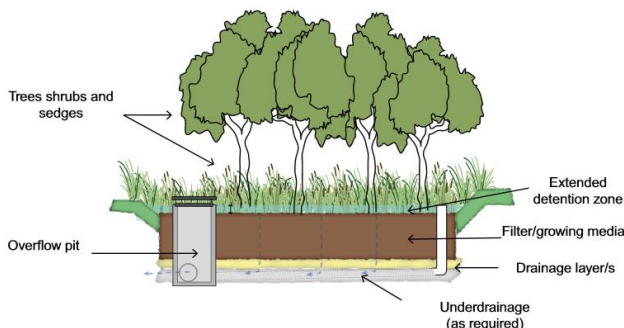


Sumber: Riversands, 2020

**Gambar 6. *Bioretention Basins***

## 3. *Bioretention swales*

*Bioretention swales* mirip dengan bioretention basins. Namun, *bioretention swales* adalah pengaplikasian bioretensi dalam skala jalan atau *streetscape* (Riversands, 2020).



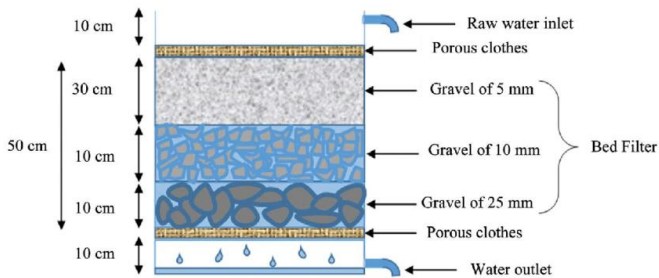
Sumber: Hoban, 2018

**Gambar 7. Ilustrasi *Bioretention Swales***



#### 4. Sand filters

*Sand filters* berfungsi untuk mengalihkan aliran limpasan air ke pasir, air disaring kemudian dikumpulkan dalam sistem drainase bawah tanah dan dibawa kembali ke sungai atau badan air (Dannowski, 2004). Metode ini biasanya digunakan untuk menanggapi *runoff* pada area parkir.

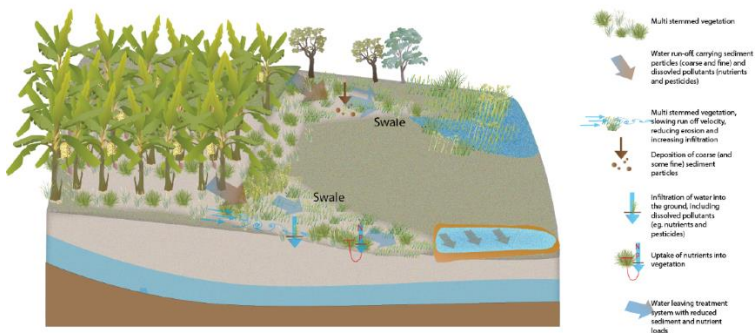


Sumber: Sosthene & Gahi, 2018

**Gambar 8. Ilustrasi Sand Filters**

#### 5. Swale or buffer systems

*Swale* atau *buffer systems* adalah adalah vegetasi yang digunakan untuk mengalirkan air hujan, sebagai pengganti pipa. Selain berfungsi sebagai penyalur air hujan, swales juga membantu mengolah *runoff* untuk mengurangi polutan air (Dannowski, 2004).



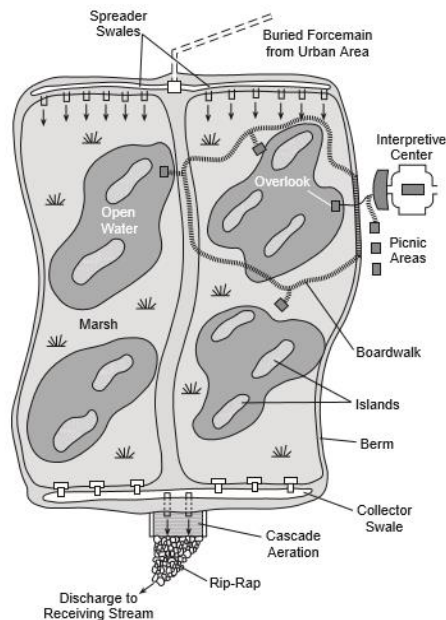
Sumber: Department of Environment and Science Queensland, 2018

**Gambar 9. Ilustrasi Swales**



## 6. *Constructed wetlands*

*Constructed wetlands* adalah sistem pengolahan air limbah yang terdiri dari satu atau lebih sel pengolahan dalam sebuah bangunan yang dirancang dan dibangun untuk menyediakan pengolahan air limbah (Hadidi, 2021). *Constructed wetlands* telah digunakan selama beberapa dekade untuk pengolahan air hujan dan air limbah di seluruh Amerika Utara dan dunia (Dannowski, 2004).



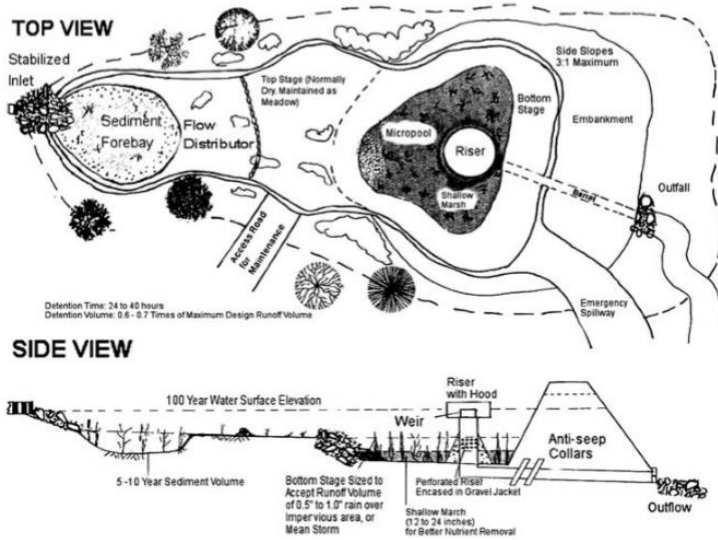
Sumber: Dannowski, 2004

**Gambar 10. Wetland Park**

## 7. *Ponds*

*Ponds* adalah daerah yang dipenuhi air, baik alami atau buatan, yang lebih kecil dari danau. Berdasarkan fungsinya, *ponds* dapat menyediakan tiga fungsi dasar yaitu sebagai pengendali banjir, peningkatan kualitas air, serta nilai ekologi dan estetika (Dannowski, 2004).





Sumber: Dannowski, 2004

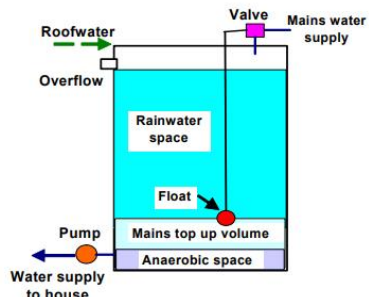
**Gambar 11. Ilustrasi Ponds**

8. *Rainwater tanks*

*Rainwater tanks* adalah tangki air yang digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan limpasan air hujan, biasanya dari atap rumah melalui pipa. Penggunaan *rainwater tanks* atau tangki air hujan di perkotaan sangat didorong untuk melengkapi pasokan air utama dan untuk mengelola *stormwater runoff* (Coombes, 2006).



Sumber: Coombes, 2006



**Gambar 12. Rainwater Tanks**



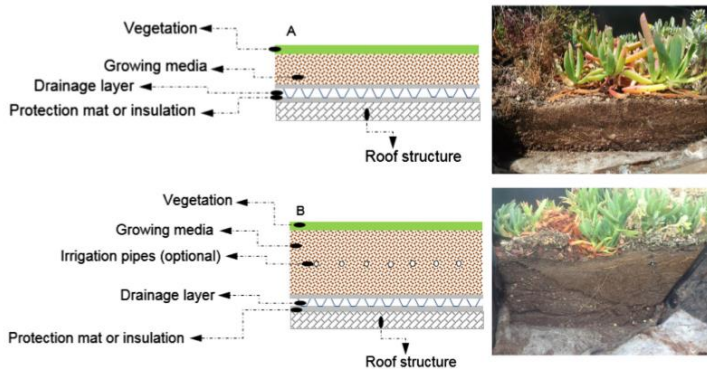
## 6. Penerapan Model Water Sensitive Urban Design

Penerapan WSUD dapat dilakukan dengan sangat bervariasi, mencakup pemanenan air hujan, *rain gardens*, sistem bioretensi, *green roofs*, daur ulang air limbah, sengkedan, *constructed wetlands*, dan sebagainya. Subbab ini memperlihatkan beberapa contoh penerapan *Water Sensitive Urban Design* di berbagai negara.

Perth, sebagai salah satu kota di Australia yang memiliki iklim kering, juga sudah menerapkan *Water Sensitive Urban Design* dalam perancangan kotanya, salah satunya melalui *rain harvesting*. *Rain harvesting* dilakukan sebagai upaya dalam menghadirkan alternatif sumber air. Beberapa kontrol pembangunan yang ditetapkan adalah dengan mengatur semua toilet dan keran mesin cuci harus dipasang dengan pipa ledeng ganda untuk memungkinkan sambungan di masa mendatang ke sumber air alternatif (misalnya, air hujan), tanpa merusak struktur bangunan. Selain itu, wajib menyediakan ruang yang cukup untuk pemasangan tangki air hujan di masa mendatang (kapasitas minimum 3 kL) di dekat pipa air hujan/detik dengan luas tangkapan atap minimum 70 m<sup>2</sup>, outlet listrik eksternal, keran taman, dan pipa ledeng ganda (Byrne et al., 2018).

Pemerintah kota New York juga telah mendorong penggunaan *green roof* di NYC sebagai pendekatan manajemen kualitas air. Pemasangan *green roof* merupakan bagian dari strategi infrastruktur hijau secara keseluruhan. Hal ini telah didukung oleh undang-undang bangunan pemerintah New York serta telah diberikan keringanan pajak untuk membantu mengimbangi biaya pemasangannya. Pemantauan telah menunjukkan bahwa *green roof* dapat memberikan pengurangan limpasan air dengan signifikan di perkotaan New York. Di daerah perkotaan yang padat ini, *green roof* menawarkan berbagai manfaat lain bagi pemilik bangunan dan masyarakat sekitar, termasuk meminimalisir *urban heat island*, meningkatkan keanekaragaman hayati, mempercantik lingkungan, dan meningkatkan peluang rekreasi dan pertanian di perkotaan (Cook et al., 2018).





Sumber: Beecham et al, 2018

**Gambar 1. Ilustrasi Green Roof**

Penerapan lain dapat dilihat melalui desain jalanan. Pepohonan di jalan berperan penting dalam membantu kota-kota untuk beradaptasi dengan berbagai gangguan lingkungan yang diakibatkan oleh urbanisasi, seperti perubahan siklus air perkotaan. Pendekatan pohon biofiltrasi area *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) yang dapat mengurangi limpasan air badai dan berpotensi meningkatkan kualitas yang tidak bersih. Lubang pohon biofiltrasi juga berpotensi mengurangi tekanan air di pohon jalanan (Gebert et al., 2019).





Sumber: Gebert et al., 2019

**Gambar 14. Pohon biofiltrasi**

Inti dari strategi-strategi yang dilakukan adalah distribusi infrastruktur drainase 'hijau', seperti *rain gardens* dan *constructed wetlands*. Penerapan beragam infrastruktur hijau multi-fungsi ditujukan untuk melindungi kualitas air, mengurangi risiko banjir dan memberikan manfaat tambahan, seperti peningkatan nilai amenitas, iklim mikro, dan habitat ekologis. (Kuller et al., 2018).

## 7. Kesimpulan

Perencanaan perkotaan dengan konsep lingkungan terbangun berkelanjutan harus memperhatikan pengelolaan atau manajemen air perkotaan. Water sensitive urban design merupakan salah satu konsep desain perkotaan berkelanjutan yang dapat diterapkan dengan membuat beberapa variasi elemen bangunan seperti, pemanenan air hujan, *rain gardens*, sistem bioretensi, *green roofs*, daur ulang air limbah, sengkedan, *constructed wetlands*, dan sebagainya. Penerapan water sensitive urban design mampu memperhatikan dan mengintegrasikan seluruh siklus air perkotaan, mulai dari *supply* dan *demand*, air limbah, air hujan dan *runoff*, bahkan komunitas lokal untuk meningkatkan kualitas hidup.



## Referensi

- (CSIRO). (2005). *WSUD Engineering Procedures*.
- Beecham, S., Razzaghmanesh, M., Bustami, R., & Ward, J. (2018). The Role of Green Roofs and Living Walls as WSUD Approaches in a Dry Climate. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00020-4>
- Bevington, C., Levin, D., Robinson, P., Davis, P., Abbott, J., Simkins, P., & Shaffer, P. (2013). *water sensitive urban design in the UK in the UK design urban sensitive water*. 20.
- Bird, M. I., O'Grady, D., & Ulm, S. (2016). Humans, water, and the colonization of Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(41), 11477–11482. <https://doi.org/10.1073/pnas.1608470113>
- Byrne, J., Green, M., & Dallas, S. (2018). WSUD Implementation in a Precinct Residential Development. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00026-5>
- City of Melbourne. (2006). City of Melbourne WSUD Guidelines. *WaterSUD Guidelines*, 1–165.
- Cook, S., van Roon, M., Ehrenfried, L., LaGro, J., & Yu, Q. (2018). WSUD “Best in Class”-Case Studies From Australia, New Zealand, United States, Europe, and Asia. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00027-7>
- Coombes, P. (2006). Key messages from a decade of water quality research into roof collected rainwater supplies. *1st National ...*, April 2014, 1–9. [http://urbanwatercyclesolutions.com/wp-content/uploads/2014/01/RWT\\_WQ\\_insights1.pdf](http://urbanwatercyclesolutions.com/wp-content/uploads/2014/01/RWT_WQ_insights1.pdf)



- Dandy, G. C., Di Matteo, M., & Maier, H. R. (2018). Optimization of WSUD Systems. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions* (Issue 3). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00015-0>
- Dannowski, R. (2004). Handbook of Water Sensitive Planning and Design. In *Journal of Environmental Quality* (Vol. 33, Issue 1). <https://doi.org/10.2134/jeq2004.4090>
- Department of Environment and Conservation. (2006). *Harvesting and Reuse: Managing Urban Stormwater*.
- Department of Environment and Science, Q. (2018). *Vegetated buffers and swales (Department of Environment and Science)*.
- FISRWG. (1998). *Impact of Urbanization on The Natural Water Balance Source*.
- Gebert, L. L., Coutts, A. M., & Tapper, N. J. (2019). The influence of urban canyon microclimate and contrasting photoperiod on the physiological response of street trees and the potential benefits of water sensitive urban design. *Urban Forestry and Urban Greening*, 40(April 2017), 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.07.017>
- Hadidi, L. Al. (2021). Constructed Wetlands a Comprehensive Review. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, 9(8), 395–417. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v9.i8.2021.4176>
- Hamlyn-Harris, D., McAlister, T., & Dillon, P. (2018). Water Harvesting Potential of WSUD Approaches. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00009-5>
- Hoban, A. (2018). Water sensitive urban design approaches and their description. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00002-2>



- Iftekhar, M. S., & Pannell, D. J. (2022). Developing an integrated investment decision-support framework for water-sensitive urban design projects. *Journal of Hydrology*, 607(May 2021), 127532. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127532>
- Kuller, M., Farrelly, M., Deletic, A., & Bach, P. M. (2018). Building effective Planning Support Systems for green urban water infrastructure—Practitioners’ perceptions. *Environmental Science and Policy*, 89(May), 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.06.011>
- Li, Z., Xu, S., & Yao, L. (2018). A systematic literature mining of Sponge city: Trends, foci and challenges standing ahead. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041182>
- Ligtenberg, J. (2017). *Runoff changes due to urbanization: A review*. January, 19. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1067287/FULLTEXT01.pdf%0Ahttp://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1067287&dswid=4043>
- Nunes, R. T. S., Deletic, A., Wong, T., Prodanoff, J. H. a, & Freitas, M. a V. (2011). Procedures for integrating Water Sensitive Urban Design ( WSUD ) technologies into the site planning process : Criteria for streetscape scale applied in Melbourne Region - Australia. *12nd International Conference on Urban Drainage, September*, 1–8. <https://doi.org/10.13140/2.1.4067.4088>
- Perez, M. A., Zech, W. C., Vasconcelos, J. G., & Fang, X. (2019). Large-scale performance testing of temporary sediment basin treatments and high-rate lamella settlers. *Water (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/w11020316>
- Radcliffe, J. C. (2018). History of water sensitive urban design/low impact development adoption in Australia and internationally. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00001-0>



Riversands. (2020). *Bioretention systems \_ The different types & benefits \_ River Sands*.

Sharma, A. K., Rashednia, S., Gardner, T., & Begbie, D. (2018). WSUD Design Guidelines and Data Needs. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00004-6>

Sosthene, K. M., & Gahi, N. (2018). Low Cost Filtration of Domestic Wastewater for Irrigation Purpose. *World Journal of Engineering and Technology*, 06(03), 585–602. <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.63036>



## PROFIL PENULIS



**Desyta Ulfiana, ST., MT.**, yang lahir di Kudus, 11 Desember 1993, merupakan seorang dosen yang aktif mengajar pada Program Studi S1 Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Beliau menyelesaikan pendidikan magisternya mengambil bidang keilmuan Manajemen Rekayasa Sumber Air di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2018. Beliau aktif melakukan riset pada bidang keairan terutama fokus pada desain drainase perkotaan yang berkelanjutan. Riset yang telah dilakukan beliau publikasikan baik ke jurnal nasional maupun prosiding internasional, salah satunya adalah jurnal dengan judul Analisis Kerawanan Banjir sebagai Pendukung Perencanaan Model Water Sensitive Urban Design di Kabupaten Klaten (2020). Kerjasama untuk riset ataupun diskusi mengenai hasil publikasi dengan beliau dapat melalui email [desyta@live.undip.ac.id](mailto:desyta@live.undip.ac.id)



Department of Urban and Regional Planning Engineering Faculty Diponegoro University, Semarang City, Indonesia.  
Email : [novia.sari@live.undip.ac.id](mailto:novia.sari@live.undip.ac.id)  
Scopus ID : 57211208793  
Orchid ID : <https://orcid.org/0000-0001-6618-1594>  
Novia Sari Ristianti, ST, MT merupakan dosen di Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Penulis berada di bawah laboratorium perancangan ruang fisik wilayah dan kota. Penulis memiliki kompetensi dan fokus penelitian/ publikasi ilmiah pada bidang spatial behaviour, public space, inclusive urban design, sustainable urban design, dan water management design.





**Nurhadi Bashit, ST., M.Eng** merupakan dosen di Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Lulus Diploma 3 (D3) di Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2010. Beliau menyelesaikan gelar sarjana (S1) di Institute Teknologin Nasional Malang pada tahun 2012. Beliau mendapatkan gelar magister (S2) di Teknik Geomatika Universitas Gadjah Mada pada tahun 2016. Bidang riset yang ditekuninya, antara lain *penginderaan jauh sensor pasif, fotogrametri, dan pemodelan 3 dimensi*. Riset beliau di publikasikan di berbagai jurnal maupun prosiding nasional dan internasional. Beliau mendapatkan hibah dana penelitian dari LPPM Universitas Diponegoro. Beliau bisa dihubungi di [nurhadi.bashit@live.undip.ac.id](mailto:nurhadi.bashit@live.undip.ac.id)



**Naily Syafira Zain, S.PWK**, lulus studi S-1 dari Jurusan Teknik Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro pada tahun 2022. Studinya mengenai “Kebutuhan Elemen Desain Keamanan Ruang Publik bagi Wanita pada Masa Pandemi Covid-19 di Tangerang Selatan” membawanya lulus dengan status *cumlaude*. Selama masa kuliah, ia didelegasikan oleh departemen dalam ajang Pemilihan Mahasiswa Berprestasi di tingkat Fakultas. Saat ini, ia bekerja sebagai *associate* di Kementerian Perhubungan, sekaligus meniti karir sebagai *freelance urban designer*.





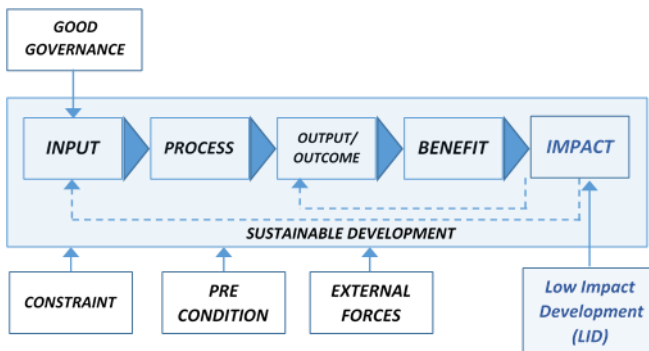
# PRINSIP KEBIJAKAN *ZERO DELTA Q* DALAM SUATU KAWASAN

Hary Budienny<sup>1</sup> dan Dwi Kurniani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## 1. Pendahuluan

James E. Anderson (Irfan Islamy, 2000) mendefinisikan kebijakan itu adalah serangkaian tindakan yang mempunyai tujuan tertentu yang diikuti dan dilaksanakan oleh seseorang pelaku sekelompok pelaku guna memecahkan suatu masalah tertentu. 'Infrastruktur dan Lingkungan Terbangun Berkelanjutan' berkait erat dengan kerangka dasar *system* yang dapat digambarkan secara garis besar seperti skema di bawah ini.



Sumber : OECD, 2000 → diolah

**Gambar 1. System Pembangunan Berkelanjutan**

Skema di atas adalah gambaran dari system Pembangunan Berkelanjutan dimana semua aktivitas rangkaian kegiatan yang dilaksanakan berdasarkan system yang dilakukan oleh institusi baik swasta maupun pemerintah yang good governance yang aktivitasnya berjalan dengan efektif dan efisien. Prosesnya diawali dengan input



yang dapat berupa aktivitas pembangunan di berbagai bidang, sebagai contoh misalnya pembangunan jalan toll di pulau Jawa. Setelah kemudian berproses selanjutnya akan menghasilkan output berupa jalan toll yang siap digunakan, sedangkan outcome-nya adalah waktu perjalanan yang ditempuh pengguna kendaraan di Jawa menjadi lebih cepat, aman, dan nyaman jika ditempuh melalui jalur toll tersebut. Benefit nya kegiatan perekonomian semakin meningkat dan lancar.

Setiap alih fungsi lahan dari lahan terbuka (hutan, pertanian, ladang/perkebunan) menjadi daerah terbangun akan mempunyai dampak terhadap lingkungan. Dampak negatif terkait dengan hidrologi adalah berkurangnya zona resapan air yang berakibat bertambahnya debit limpasan saat musim hujan. Dampak inilah yang seharusnya diminimalkan agar lingkungan tetap terjaga kelestariannya, sesuai dengan amanat yang tercantum pada Peraturan Pemerintah (PP) No 26 Tahun 2008 tentang kebijakan Zero Delta Q.

System tersebut juga dipengaruhi oleh adanya kendala (constraint) misal pembebasan lahan, kondisi prasyarat (pre condition) misalnya kesiapan dari owner dan pengembang dan pengaruh kekuatan di luar system (external forces) misalnya adanya spekulasi harga tanah.

## **2. Pengertian**

### **2.1. Zero Delta Q Policy**

Zero delta Q policy adalah suatu kebijakan untuk mempertahankan besaran debit runoff/debit limpasan supaya tidak bertambah dari waktu ke waktu dan memperbesar kesempatan air untuk berinfiltrasi ke dalam tanah. Konsep zero delta Q policy atau kebijakan selisih debit nol, artinya penanganan tata kelola air hujan dialirkan sesuai kapasitas saluran yang ada dan tidak boleh meninggalkan genangan. Prinsip penerapan konsep kebijakan zero delta Q adalah adanya penambahan bangunan seharusnya tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem aliran sungai.

Istilah zero delta Q policy ada dalam Peraturan Pemerintah No 26 Tahun 2008 yaitu tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional



yang terbit pada tanggal 10 Maret 2008. Di dalam Ayat 1 Pasal 106 dari PP tersebut tertulis bahwa :

“Peraturan zonasi untuk kawasan imbuhan air tanah disusun dengan memperhatikan :

- a. pemanfaatan ruang secara terbatas untuk kegiatan budi daya tidak terbangun yang memiliki kemampuan tinggi dalam menahan limpasan air hujan;
- b. penyediaan sumur resapan dan/atau waduk pada lahan terbangun yang sudah ada; dan
- c. penerapan prinsip zero delta Q policy terhadap setiap kegiatan budi daya terbangun yang diajukan izinnya.”

Pada poin c tersebut dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan “prinsip kebijakan zero delta Q” adalah keharusan agar tiap bangunan tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem aliran sungai dan disebutkan juga bahwa penerapan prinsip zero delta Q policy harus menjadi pertimbangan dalam memberikan izin mendirikan bangunan pada suatu kawasan.

Alih fungsi kawasan resapan menjadi kawasan komersial, misalnya, kerap kali dijadikan alasan sebagai penyebab terjadinya banjir. Prinsip zero delta Q policy seharusnya dapat dilakukan untuk semua persil dari semua jenis penggunaan lahan dan prinsip zero delta Q policy ini sebenarnya dapat diterapkan pada kawasan-kawasan komersial tertentu yang saat ini sudah terbangun.

Kemudian, dalam proses penyusunan Andal (Analisa Dampak Lingkungan), penerapan prinsip ini nampaknya belum menjadi keharusan. Jika penerapan prinsip zero delta Q policy itu hanya menjadi keharusan untuk kawasan imbuhan air tanah, maka sesungguhnya perlu payung hukum untuk mewajibkan penerapan itu dalam setiap penyusunan Andal.

## **2.2. Kawasan Perkotaan**

Kawasan Perkotaan didefinisikan sebagai :

“Wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi.” (Kementerian Pekerjaan Umum, 2000)



### **2.3. Kawasan Perumahan dan Permukiman**

Kawasan Perumahan dan Permukiman didefinisikan sebagai : “Perumahan adalah kumpulan rumah sebagai bagian dari permukiman, baik perkotaan maupun perdesaan, yang dilengkapi dengan prasarana, sarana, dan utilitas umum sebagai hasil upaya pemenuhan rumah yang layak huni. Permukiman adalah bagian dari lingkungan hunian yang terdiri atas lebih dari satu satuan perumahan yang mempunyai prasarana, sarana, utilitas umum, serta mempunyai penunjang kegiatan fungsi lain di kawasan perkotaan atau kawasan perdesaan”. (Undang-Undang No 1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman).

### **3. Teknologi Pendukung Zero Delta Q Policy**

Dari definisi tentang perumahan dan permukiman tersebut dapat diketahui bahwa kualitas dari suatu lingkungan perumahan dipengaruhi oleh kualitas prasarana, sarana, dan utilitas umum pendukungnya. Jaringan jalan, jaringan listrik, jaringan air, gedung sekolah dan rumah sakit yang merupakan hasil rekayasa buatan manusia guna meningkatkan kualitas lingkungan perumahan dan permukiman dikenal sebagai grey infrastructure.(Batzel,2004). Sayangnya pembangunan konvensional, dalam rangka penyediaan infrastruktur tersebut selama ini seringkali mengabaikan keberlangsungan sistem ekologi. Perubahan tata guna lahan dari wilayah hutan menjadi wilayah perumahan dan permukiman berpotensi meningkatkan debit puncak sungai antara 6 sampai 20 kali. (Kodoatie & Sjarief, 2010, hal. 152)

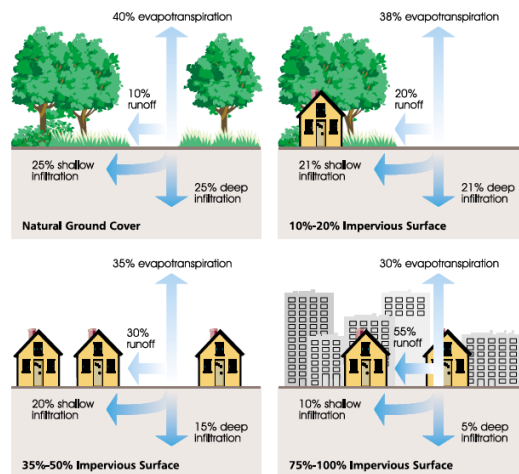
Alih fungsi lahan seperti perubahan hutan / lahan terbuka hijau menjadi lahan terbangun, tanpa kompensasi (fungsi resapan) merupakan sumber bencana banjir dan berlanjut dengan bencana kekeringan. Konsep infrastruktur hijau dikenalkan dengan tujuan untuk mengubah konsep pembangunan konvensional yaitu dengan menjadikan kelestarian lingkungan sebagai bagian tidak terpisahkan dari pembangunan infrastruktur abu-abu (grey infrastructure). (Batzel, 2004, hal. 6) Jadi dalam hal ini penyediaan infrastruktur hijau saling terkait dengan infrastruktur abu-abu. Sinergi antar infrastruktur tersebut akan dapat meningkatkan kualitas lingkungan



perumahan dan permukiman. Diharapkan dengan sinergi tersebut dampak negatif pembangunan (perubahan fungsi lahan) terkait dengan peningkatan aliran permukaan (surface runoff) akibat berkurangnya daerah resapan dapat dikurangi. Ilustrasi proses peningkatan debit aliran (runoff) dapat digambarkan seperti pada gambar 2. sebagai berikut.

Pada wilayah yang belum terbangun, koefisien runoff (C) rendah, air hujan yang turun dapat meresap perlahan ke dalam tanah setelah tanah mulai jenuh air barulah aliran permukaan terjadi. Sebaliknya pada wilayah terbangun, koefisien runoff (C) tinggi, air hujan yang jatuh dapat dengan cepat mengalir ke drainase lingkungan menuju drainase perkotaan maupun sungai. Hal ini mengakibatkan kenaikan debit aliran sungai ( $\Delta q$ ) akibat berubahnya fungsi lahan. Kondisi ini dapat dirumuskan dengan:

$$Q_{today} = Q_{before} + \Delta q.$$



Sumber : FISRWG dalam LID Hydrologic Analysis (Prince George's County Md, 1999)

**Gambar 2. Peningkatan runoff akibat perubahan lahan**

Untuk curah hujan tetap, apabila semakin banyak konversi lahan untuk permukiman maka runoff-nya semakin meningkat, mengakibatkan terjadinya limpasan (overtopping) pada drainase maupun sungai. Dirumuskan dengan  $Q_{today} = Q_{before} + \sum \Delta q$ . Hal inilah yang menjadi landasan pemikiran bahwa sudah saatnya



diterapkan zero delta Q policy. Penanganan hanya dengan mitigasi banjir di sungai saja tidak cukup bila tidak ada penanganan pengendalian banjir pada sumbernya yaitu dengan penerapan konsep “Zero  $\Delta Q$  Policy”. Kebijakan ini tercantum dalam PP 26 Tahun 2008.

Dalam konsep ini dihitung tambahan debit  $\Sigma\Delta q$  atau volumenya untuk menghitung volume total yang perlu ditangani dengan berbagai strategi yang sesuai dengan kondisi setempat, antara lain dengan upaya rekayasa pada area terbangun tersebut dengan strategi-strategi seperti pembuatan sumur resapan, kolam retensi, kolam detensi, ruang terbuka hijau dan sebagainya.

#### 4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Limpasan

Faktor yang mempengaruhi limpasan dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu faktor meteorologi dan karakteristik daerah tangkapan air/DTA atau daerah aliran sungai/DAS (Suripin, 2003, hal. 74-77).

1. Faktor Meteorologi, terutama adalah karakteristik hujan, yang meliputi :
  - a. Intensitas Hujan, pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan tergantung pada laju infiltrasi. Semakin tinggi intensitas hujan melebihi laju infiltrasi maka berpotensi meningkatkan limpasan permukaan.
  - b. Durasi Hujan, total limpasan dari suatu hujan berkaitan dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu.
  - c. Distribusi Curah Hujan, laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan di seluruh wilayah DAS. Laju dan volume limpasan maksimum terjadi jika seluruh DAS memberi kontribusi aliran.
2. Karakteristik DAS
  - a. Luas dan bentuk DAS, semakin luas DAS maka laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar. Apabila aliran permukaan dinyatakan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan semakin berkurang dengan penambahan luas DAS. Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan aliran permukaan yang lebih kecil apabila



dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar.

- b. Topografi, DAS dengan kemiringan curam disertai dengan parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang.
- c. Tata Guna Lahan, pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C) yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa seluruh air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sedangkan nilai C = 1 berarti bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan.

Dari faktor-faktor tersebut, tata guna lahan merupakan faktor yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Perubahan tata guna lahan dari lahan hutan (undeveloped area) menjadi area terbangun memberikan kontribusi dalam peningkatan aliran permukaan. Perubahan tata guna lahan ini merupakan penyebab utama terjadinya banjir, debit puncak dapat meningkat 6 sampai 20 kali karena pada wilayah DAS tidak dapat lagi menahan aliran permukaan. (Kodoatie dan Syarief, 2010)

## 5. Low Impact Development (LID)

Seperti kita ketahui sistim drainasi konvensional direncanakan dengan konsep mengumpulkan, mengalirkan dan membuang air limpasan permukaan secepat dan seefisien mungkin ke badan air (saluran, sungai). Sementara itu sistim drainase yang sekarang dikembangkan dengan mengusahakan untuk menahan air selama mungkin dan selanjutnya diupayakan untuk meresap ke dalam tanah dengan teknologi yang diusulkan.

Low Impact Development (LID) adalah pengelolaan air hujan secara lokal yang ramah lingkungan. Konsep pengelolaan air hujan dengan teknik ini adalah pengelolaan air hujan dengan skala mikro yang dilakukan di lokasi atau di sekitar daerah tangkapan air hujan. Teknologi LID didalam mengelola air hujan yaitu dengan



mempertahankan kondisi hidrologi suatu kawasan yang dikembangkan sama dengan kondisi hidrologi pada awal sebelum dikembangkan.

Untuk kawasan perumahan dan permukiman dapat dilaksanakan dengan penyediaan kolam retensi maupun kolam detensi untuk pengendalian limpasan permukaan namun pada kawasan perumahan dan permukiman padat yang dikembangkan secara mandiri oleh masyarakat terkendala dengan ketiadaan lahan. Solusi lain yang dapat diusulkan adalah dengan memanfaatkan konsep Low Impact Development (LID) yang mendukung pengelolaan limpasan secara setempat (onsite) yang selaras dengan zero delta Q policy.

Low Impact Development (LID) merupakan suatu strategi desain tapak/lahan dengan tujuan mempertahankan atau meniru kondisi hidrologis suatu kawasan pada kondisi sebelum pembangunan. Teknik/metode yang digunakan dengan menerapkan fungsi hidrologis penyimpanan (storage), infiltrasi, menguapkan (evaporate), pengisian kembali air tanah (groundwater recharge) serta menahan (detain) limpasan air hujan dengan penyediaan area retensi dan detensi skala kecil. (Coffman, 2000)

Berbagai macam konsep LID yang dapat diterapkan pada suatu kawasan secara terintegrasi antara lain :

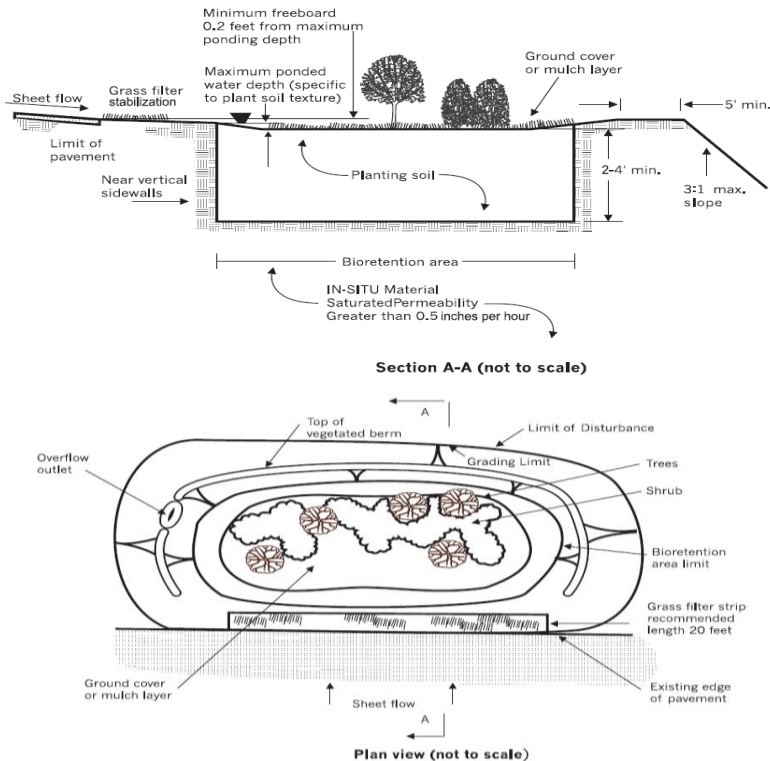
1. Bioretensi/rain garden

Bioretensi merupakan suatu cara untuk mengelola (dengan penyaringan dan menyimpan) limpasan air hujan berupa lahan bervegetasi dengan komposisi media tanam berupa tanah dan material tertentu sehingga membentuk kantong-kantong air dangkal (Prince's George County Md, 1999, hal. 4-8).

Kedalaman rain garden didesain antara 4 inch – 8 inch (0,1016 m – 0,2032m), hindari kedalaman melebihi 8 inch karena akan nampak seperti lubang dan menahan lebih banyak air. Apabila kondisi tanah setempat berupa lempung/tanah liat (clay) atau memiliki laju perkolasi lambat maka diperlukan tambahan galian tanah dan perubahan/rekayasa tanah, dengan ketentuan sebagai berikut (Alabama Cooperative Extension System, 2012) :



- Gali sedalam 1,5-2 kaki dari lubang asli (4 inc-8inc + 1,5-2 kaki),
- Pada lapisan bawah galian, tambahkan kerikil setebal 3-6 inch untuk membantu infiltrasi bawah permukaan.
- Tutup galian dengan media tanam yang terdiri dari campuran pasir 50-60%, lapisan atas tanah 20-30%, dan kompos 20-30%. Idealnya, komposisi tanah liat harus kurang dari 10%. Pada umumnya campuran pasir 30%, kompos 30%, dan 30% material tanah eksisting akan memberikan pertumbuhan tanaman yang baik dan drainase yang memadai. Fungsi dari komposisi tersebut untuk membuat tanah lebih berpori dan lebih subur bagi tanaman.



Sumber : LID: An Integrated Design Approach, Prince's George County Md, 1999

**Gambar 3. Desain Tipikal Bioretensi**



## 2. Sumur Kering (dry well) atau Sumur Resapan

Sumur kering merupakan galian pada tanah yang diisi dengan agregat kasar seperti kerikil atau batu untuk mengelola limpasan air hujan dari atap. Sumur kering menyediakan fungsi infiltrasi, adsorpsi, penangkapan, penyaringan dan pengurangan bakteri. (Prince's George County Md, 1999, hal. 4-11). Di Indonesia konsep ini dikenal dengan nama sumur resapan. Sumur Resapan adalah sarana drainase yang berfungsi untuk meresapkan air hujan dari atap bangunan gedung ke dalam tanah melalui lubang sumuran.

### *Perencanaan Sumur Resapan*

Konsep dasar sumur resapan pada hakekatnya adalah memberi kesempatan dan jalan pada air hujan yang jatuh di atap atau lahan kedap air untuk meresap ke dalam tanah dengan jalan menampung air tersebut pada suatu sistem resapan. Berbeda dengan cara konvensional dimana air hujan dibuang/dialirkan ke sungai diteruskan ke laut, dengan cara seperti ini dapat mengalirkan air hujan ke dalam sumur-sumur resapan yang dibuat di halaman rumah. Sumur resapan ini merupakan sumur kosong dengan kapasitas tampungan yang cukup besar sebelum air meresap ke dalam tanah. Dengan adanya tampungan, maka air hujan mempunyai cukup waktu untuk meresap ke dalam tanah, sehingga pengisian tanah menjadi optimal. (Suripin, 2004). Persyaratan teknis sumur resapan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

- 1) Kedalaman air tanah  
Kedalaman air tanah minimum 1,50 m pada musim hujan.
- 2) Permeabilitas tanah  
Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah  $\geq 2,0$  cm/jam, dengan klasifikasi sebagai berikut:
  - a) Permeabilitas tanah sedang (geluh kelanauan, 2,0 – 3,6 cm/jam atau 0,48 – 0,864 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari);
  - b) Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 3,6 – 36 cm/jam atau 0,864 -8,64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari);
  - c) Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, lebih besar dari 36 cm/jam atau 8,64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari).



- 3) Jarak terhadap bangunan  
Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Jarak Minimum Sumur Resapan Air Hujan terhadap Bangunan**

No	Bangunan	Jarak minimum dari sumur resapan air hujan
1	Sumur resapan air hujan/sumur air bersih	3
2	Pondasi bangunan	1
3	Bidang resapan/sumur resapan/tangki septik	5

Sumber: Permen PU RI No.11 Tahun 2014

- 4) Tipe sumur resapan  
Berdasarkan proses pembuatannya, sumur resapan dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu sumur resapan yang diproduksi secara fabrikasi (sumur resapan modular) dan sumur resapan konvensional yang dibuat langsung pada persil bangunan. Sumur resapan yang diproduksi secara fabrikasi (sumur resapan modular) dapat tersedia dalam berbagai bentuk, dimensi, dan material. Penggunaan sumur resapan modular harus tetap mengakomodasi ketetapan status wajib kelola air hujan. Penggunaan dan pembuatan sumur resapan konvensional harus sesuai dengan SNI 03-2453-2002 tentang Tata Cara Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan.

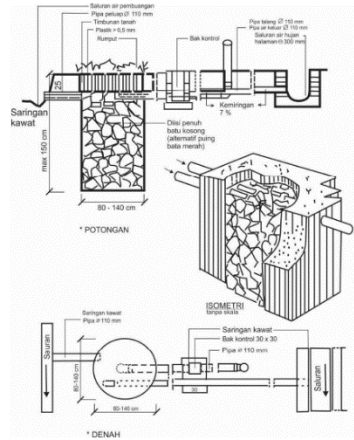
Klasifikasi sumur resapan berdasarkan SNI tersebut, adalah :

- Sumur resapan air hujan tipe I dengan dinding tanah, untuk tanah geluh kelanauan dan dapat diterapkan pada kedalaman maksimum 3 m, seperti tampak pada gambar 4.1
- Sumur resapan air hujan tipe II dengan dinding pasangan batako atau bata merah tanpa diplester dan diantara pasangan diberi celah lubang, dan dapat diterapkan untuk semua jenis tanah dengan kedalaman maksimum 3 m, seperti tampak pada gambar 4.2
- Sumur resapan air hujan tipe III dengan dinding buis beton porous atau tidak porous, pada ujung pertemuan sambungan diberi celah lubang, dan dapat diterapkan dengan kedalaman

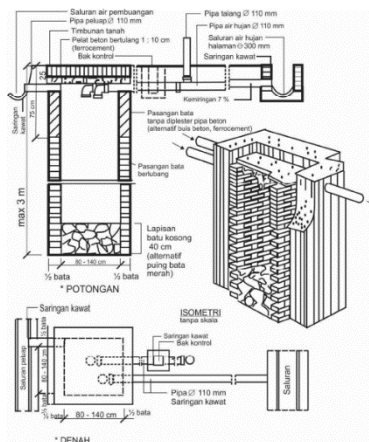


maksimum sampai dengan muka air tanah, seperti tampak pada gambar 4.3

- d) Sumur resapan air hujan tipe IV dengan dinding buis beton berlubang dan dapat diterapkan dengan kedalaman maksimum sampai dengan muka air tanah, seperti tampak pada gambar 4.4

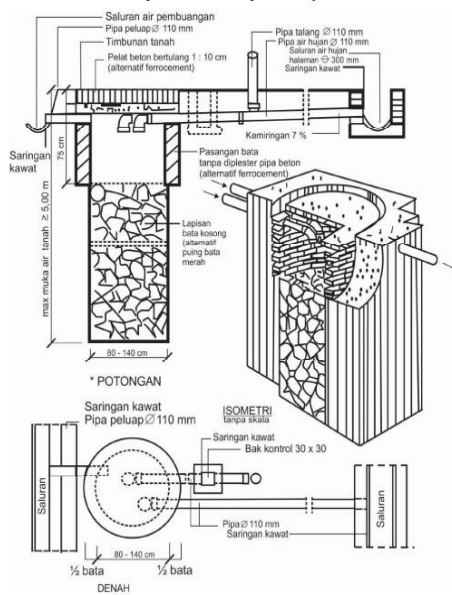


**Gambar 4.1. Tipe I Sumur Resapan**

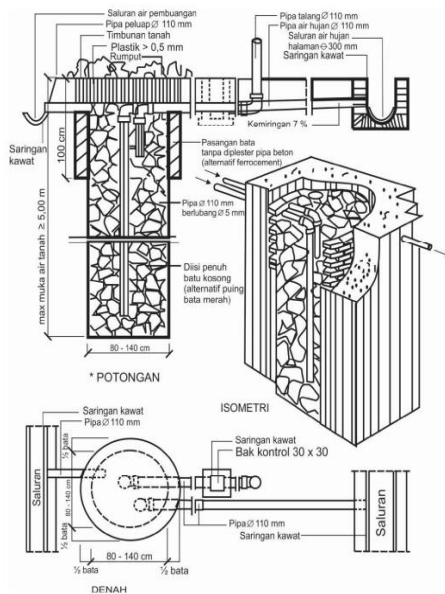


**Gambar 4.2. Tipe II Sumur Resapan**





**Gambar 4.3. Tipe III Sumur Resapan**



**Gambar 4.4. Tipe IV Sumur Resapan**

Menurut Peraturan Menteri PU No 11/PRT/M/2014 Tentang Pengelolaan Air Hujan Pada Bangunan Gedung dan Persilnya, secara teoritis volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke dalam sumur dan air yang meresap ke dalam tanah dapat ditulis sebagai berikut:

Perhitungan volume sumur resapan ( $V_{sr}$ )

$$V_{sr} = V_{ab} - V_{rsp}$$

dimana:

$V_{sr}$  = Volume sumur resapan ( $m^3$ )

$V_{ab}$  = Volume andil banjir ( $m^3$ )

$V_{rsp}$  = Volume air yang meresap ke dalam tanah selama hujan berlangsung ( $m^3$ )

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{24} \cdot A_{total} \cdot K_{rata-rata}$$

dimana:

$t_e$  = durasi hujan efektif (jam)

$t_e = 0,9 \cdot (t_h)^{0,92}$

$t_h$  = tinggi hujan (mm)

$A_{total}$  = luas dinding sumur + luas alas sumur ( $m^2$ )

$K$  = koefisien permeabilitas tanah (m/hari)

- sumur resapan dinding kedap, nilai  $K_v = K_h$
- sumur resapan dinding tidak kedap, nilai  $K_{rata-rata}$

$$K_{rata-rata} = \frac{K_v \cdot A_h + K_h \cdot A_v}{A_h + A_v}$$

dimana:

$K_{rata-rata}$  = koefisien permeabilitas tanah rata-rata (m/hari)

$K_v$  = koefisien permeabilitas tanah pada dinding sumur (m/hari) =  $2 K_h$

$K_h$  = koefisien permeabilitas tanah pada alas sumur (m/hari)

$A_h$  = luas alas sumur penampang lingkaran =  $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$   
= luas alas sumur penampang segi empat = P.L ( $m^2$ )

$A_v$  = luas dinding sumur penampang lingkaran =  $\pi \cdot D \cdot H$   
= luas alas sumur penampang segi empat =  $2 \cdot P \cdot L$  ( $m^2$ )



**Tabel 2. Koefisien Permeabilitas Tanah**

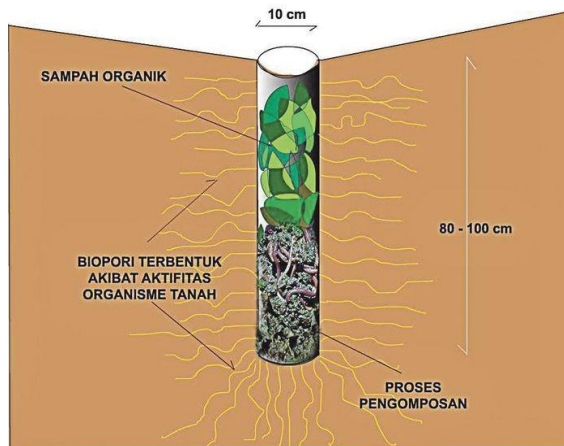
Jenis Tanah	Tingkat Permeabilitas	Koefisien Permeabilitas	
		(cm/jam)	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hari)
Geluh Kelanauan	Sedang	2 - 3,6	0,48 - 0,864
Pasir halus	Agak cepat	3,6 - 36	0,864 - 8,64
Pasir kasar	Cepat	>36	>8,64

Sumber: Permen PU No.11/PRT/M/2014, halaman 120

### 3. Lubang Resapan Biopori

Biopori adalah lubang - lubang di dalam tanah yang terbentuk akibat berbagai aktifitas organisma di dalamnya seperti cacing, rayap, perakaran tanaman dan fauna tanah lainnya. Lubang - lubang yang terbentuk ini akan dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam meresapkan air sehingga memperkecil besarnya aliran permukaan.

Teknologi Lubang Resapan Biopori ditemukan oleh Ir. Kamir R. Brata, M.Sc. staf Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB. Lubang resapan biopori (LRB) adalah lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah kemudian diisi dengan sampah organik untuk memicu terbentuknya biopori.



Sumber : (<https://mitrabentala.org/lubang-resapan-biopori-lrb-bagian-dari-konservasi-air-tanah/>)

**Gambar 5. Sketsa penampang lubang resapan biopori**



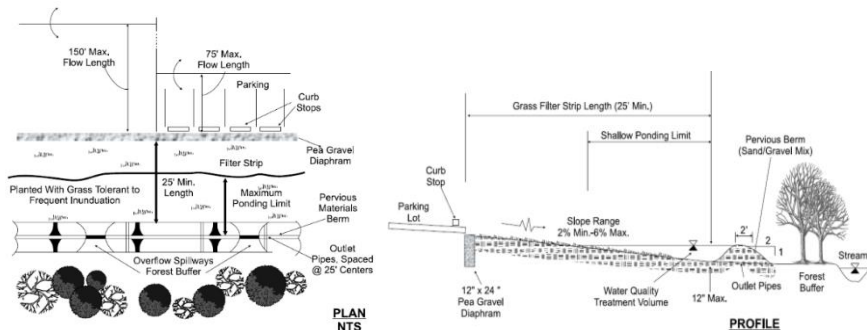
Lubang resapan biopori merupakan teknologi tepat guna dan ramah lingkungan yang mudah dan murah untuk mengatasi banjir, cocok untuk diterapkan pada daerah dengan pemukiman padat.

Manfaat lubang resapan biopori :

- a) meningkatkan daya resapan air
- b) mengubah sampah organik menjadi kompos dan mengurangi emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) dan metan)
- c) Memanfaatkan peran aktifitas fauna tanah dan akar tanaman
- d) Mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh genangan air seperti malaria dan demam berdarah

#### 4. Sabuk hijau (buffer/filter strip)

Sabuk hijau merupakan area di tepi badan air (sungai, situ/waduk, danau dll) yang ditanami berbagai jenis vegetasi, berfungsi untuk menjaga kualitas limpasan sebelum masuk ke badan air penerima. (Prince's George County Md, 1999, hal. 4-11).



Sumber: LID: An Integrated Design Approach, Prince's George County Md, 1999

**Gambar 6. Desain Tipikal Filter Strip**

#### 5. Legokan berumput (grass swales)

Swale merupakan saluran terbuka untuk mengalirkan limpasan dari jalan raya dan daerah milik jalan yang berbahan dasar tanah dan ditanami rumput. Legokan berumput ada dua jenis, yaitu legokan kering (dry swale) dan legokan basah (wet swale).





*Dry swale*



*Wet swale*

Sumber: *Sustainable storm water management*

### **Gambar 7. Grass Swales**

- Legokan kering mengendalikan kuantitas (volume) dan kualitas limpasan dengan memperbesar peluang infiltrasi ke dalam tanah;
  - Legokan basah mengendalikan debit puncak dengan menahan sejumlah limpasan untuk dilepas secara perlahan juga menyediakan pengolahan kualitasnya. Swale tipe ini biasanya ditumbuhi tanaman air yang secara permanen tumbuh untuk menahan badan air.
6. Atap Hijau (*Vegetated roof covers/roof garden/green roof*)  
Salah satu cara yang digunakan untuk menerapkan infrastruktur hijau adalah melalui atap hijau/*green roof*. Atap hijau merupakan suatu konstruksi atap berlapis yang terdiri dari lapisan vegetasi, media tanam, geotekstil dan drainase. Penerapan atap hijau dapat membantu mengurangi limpasan air hujan dengan mengurangi persentase area kedap air pada kawasan perkotaan yang padat.





Sumber: Mewujudkan Konsep Green Roof pada Atap Bangunan - Kota Hijau ([pu.go.id](http://pu.go.id))

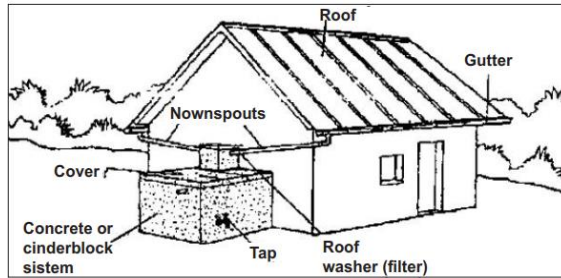
**Gambar 8. Atap Hijau**

7. Tong hujan (*rain barrels*) dan tangki air (*cistern*)

Merupakan bentuk-bentuk tampungan limpasan air hujan dari atap bangunan. Air yang tertampung dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari seperti menyiram tanaman, sering diistilahkan dengan memanen air hujan. Ada tiga komponen dasar yang harus ada dalam sistem pemanenan air hujan yaitu:

- 1) **catchment**, yaitu penangkap air hujan berupa permukaan atap;
- 2) **delivery system**, yaitu sistem penyaluran air hujan dari atap ke tempat penampungan melalui talang; dan
- 3) **storage reservoir**, yaitu tempat penyimpanan air hujan berupa tong, bak atau kolam. Selain ketiga komponen dasar tersebut, dapat dilengkapi dengan komponen pendukung seperti pompa air untuk memompa air dari bak atau kolam penampungan.



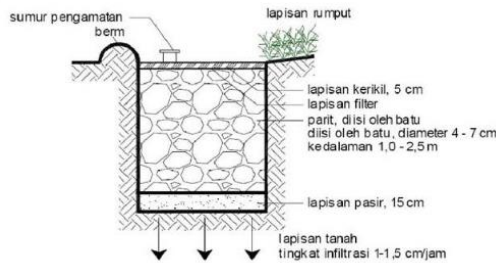


Sumber: *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 11, No. 2, 2010: 29-39*

**Gambar 9. Ilustrasi Penerapan Tangki Air**

8. Parit infiltrasi

Parit infiltrasi merupakan suatu bentuk galian parit yang diisi kembali dengan batuan sehingga membentuk cekungan di bawah permukaan tanah yang mampu menampung limpasan air hujan. Limpasan tersebut tersimpan dalam parit sampai dapat terinfiltrasi ke dalam tanah setelah beberapa hari. (Prince's George County Md, 1999, hal. 4-20).



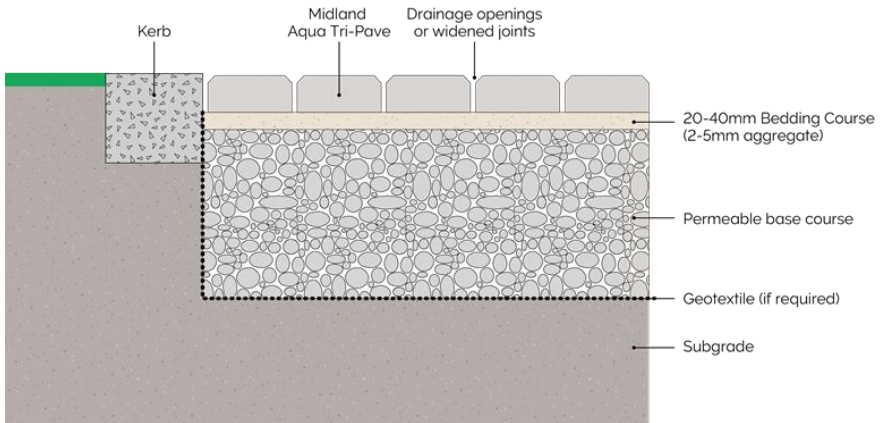
Sumber: *Sanitasi.or.id*

**Gambar 10. Parit Infiltrasi**

9. Paving permeabel

Paving permeabel yang mampu meloloskan air sehingga terjadi proses infiltrasi air pada lapisan tanah di bawahnya. *Paving* ini dapat digunakan untuk area dengan kondisi lalu lintas rendah seperti area parkir dan jalur pedestrian. Paving jenis ini lebih efektif diterapkan pada kawasan pantai dengan tanah berpasir dan pada kawasan dengan kemiringan yang relatif datar. (Low Impact Development Center, 2000, hal. 8).





Sumber: *Permeable Paving I Midland Brick*

**Gambar 11. Permeable pavement**

## 6. Penerapan LID dalam Menunjang Zero Delta Q Policy

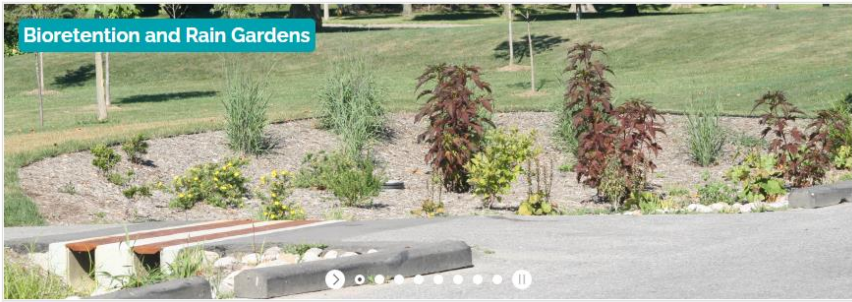
Berikut adalah beberapa penerapan LID yang dilakukan untuk menciptakan infrastruktur hijau di suatu kawasan perkotaan yang didominasi oleh fungsi perumahan permukiman. Keterbatasan lahan mendorong upaya-upaya untuk merekayasa ruang terbuka hijau yang tersedia agar mampu meningkatkan kapasitasnya sebagai resapan air.

(1)

1. Rain Garden, Jalur Jalan Hijau, Stormwater Tree Trench, Bump Out, Stormwater Planter

Peningkatan kualitas infrastruktur hijau antara lain dengan modifikasi infrastruktur hijau tersebut menjadi suatu taman hujan (*rain garden*), *roof garden/ green roof* untuk infrastruktur hijau yang berupa area hijau, sedangkan untuk infrastruktur hijau yang berupa jalur hijau dapat diterapkan konsep *stormwater tree trench, bump out, stormwater planter*. Konsep ini merupakan *Best Manajement Practice* terkait lanskap dalam *Low Impact Development*. Infrastruktur hijau ini dapat berintegrasi dengan infrastruktur abu-abu.





Sumber : <https://sustainabletechnologies.ca/home/urban-runoff-green-infrastructure/low-impact-development/>

**Gambar 12. Rain Garden**



Sumber : Humas FT UGM

**Gambar 13. Rain Garden Taman AGS FT UGM**

Jalan di area perumahan dan permukiman didesain ramah terhadap pejalan kaki dan pesepeda dari aspek keamanan dan kenyamanan. Jalur hijau pepohonan di sepanjang jalan berfungsi sebagai peneduh dan berfungsi ekologis meminimalkan penyerapan panas pada permukaan jalan aspal/beton/paving, mereduksi emisi kendaraan dan memberi dampak pada sistem hidrologi perkotaan. Jalur hijau jalan tersebut terintegrasi dengan jalur jalan yang saling menerus menghubungkan perumahan dengan sarana publik seperti pendidikan, ibadah, rekreasi dan perbelanjaan (Wunas, 2011, hal. 55).



Terkait dengan fungsi ekologis terhadap sistem hidrologi yang menunjang zero delta Q policy dapat dioptimalkan dengan penerapan bentuk-bentuk jalur hijau sebagai berikut :



Sumber: <https://www.nycstreetdesign.info/landscape/stormwater-greenstreet>

**Gambar 14. Westbourne Avenue and Bay 25th Street, Queens (Credit: Parks)**

Stormwater tree trench adalah suatu sistem pohon yang dihubungkan oleh suatu struktur peresapan bawah tanah. Di permukaan, Stormwater tree trench kelihatan seperti suatu rangkaian lubang (galian) kecil pohon jalan, sedangkan di bawah jalur pedestrian dibuat suatu rekayasa sistem manajemen aliran permukaan (runoff). Sistem ini terdiri atas suatu parit yang digali di sepanjang jalur pedestrian, dilapisi dengan suatu bahan geotextile permeable, kemudian diisi dengan batu atau kerikil, dan pada lapisan paling atas berupa media tanam dan pohon. Aliran permukaan air hujan diarahkan masuk melalui saluran menuju stormwater tree trench. Aliran permukaan ditampung diantara ruang kosong batu-batuan, mengairi pepohonan dan pelan-pelan meresap ke tanah. Apabila kapasitas tampungan air dari sistem ini terlampaui, air akan melimpas ke saluran drainase. (Philadelphia Water Department, 2011, hal. 22).





Sumber: Philadelphia Water Department, Amended Green City Clean Waters, 2011

**Gambar 15. Stormwater Tree Trench di West Mill Creek, Philadelphia, PA**

*Bump-out* sejenis dengan pulau jalan yang dapat diletakkan menonjol keluar di tepian jalan, di tengah jalan atau di persimpangan. *Bump-out* tersusun dari lapisan batu-batuan atau kerikil, media tanam dan tanaman. Air dapat dialirkan menuju *bump-out* melalui lubang kerb atau saluran. (Philadelphia Water Department, 2011, hal. 23).



Sumber: Philadelphia Water Department, Amended Green City Clean Waters, 2011

**Gambar 16. Bump-out di NE Siskiyou Street, Portland, OR**

*Stormwater Planter* diletakkan pada sisi jalur pedestrian untuk mengatur aliran air hujan yang jatuh di jalan dan pedestrian. *Stormwater Planter* tersusun dari lapisan permeabel yang diisi dengan



batu-batuan atau kerikil dan pada lapisan paling atas berupa media tanam, tanaman perdu dan pohon. Media tanam didesain lebih rendah dari elevasi jalan sehingga air dapat mengalir ke dalamnya. Dengan metode ini air hujan dapat dikelola dengan tersedianya penampungan, peresapan dan evapotranspirasi. (Philadelphia Water Department, 2011, hal. 23).



Sumber: Philadelphia Water Department, Amended Green City Clean Waters, 2011

**Gambar 17. Stormwater Planter Columbus Square, Philadelphia, PA**

## 2. Sumur Resapan



Sumber : <http://sipil.ft.undip.ac.id/sosialisasi-penggunaan-sumur-resapan-sebagai-upaya-pengendalian-banjir-di-rt-4-rw-2-kelurahan-tembalang/>

**Gambar 18. Pembuatan Sumur Resapan dalam rangka Kegiatan Pengabdian Masyarakat oleh Tim Pengabdian Masyarakat Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**



Tim Pengabdian Masyarakat Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang diketuai oleh Prof. Suharyanto melaksanakan sosialisasi “Penggunaan Sumur Resapan Sebagai Upaya Pengendalian Banjir” kepada warga RT 4 RW 2 Kelurahan Tembalang serta melaksanakan pembuatan sumur resapan di lingkungan warga sebagai upaya pengendalian banjir dan pelestarian air.

### 3. Biopori

Kegiatan pembuatan biopori ini dilaksanakan pada hari Minggu tanggal 6 Februari 2022 oleh mahasiswa KKN Undip bersamaan dengan kegiatan kerja bakti di RW 06 Kelurahan Sarirejo. Dengan adanya lubang resapan biopori ini diharapkan daerah RW 06 terhindar dari penggenangan air serta banjir pada saat musim hujan.



Sumber:

<https://www.kompasiana.com/bangjago0707/6208ed13b4616e37f467a108/kurangnya-daerah-resapan-air-mahasiswa-kkn-undip-buat-lubang-resapan-biopori>

**Gambar 19. Pembuatan Biopori di Lokasi KKN Mahasiswa UNDIP Kelurahan Sarirejo, Semarang Timur, Kota Semarang**





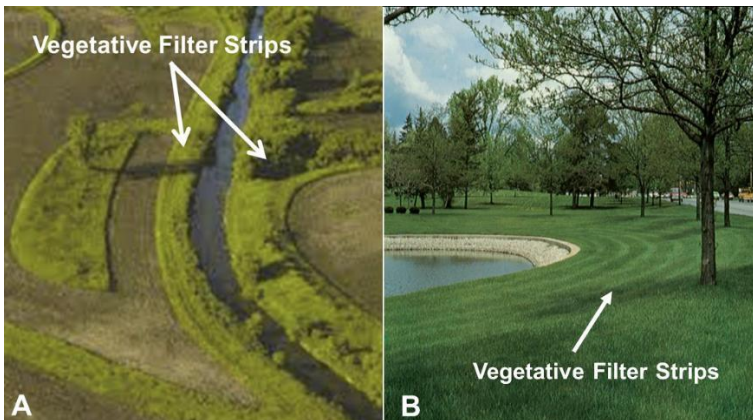
Sumber:

[https://s301.photobucket.com/albums/nn66/bluekaizen/?action=view&current=lubang\\_resapan\\_biopori.gif](https://s301.photobucket.com/albums/nn66/bluekaizen/?action=view&current=lubang_resapan_biopori.gif)

**Gambar 20. Pembuatan Biopori di sekitar pemukiman.**

#### 4. Buffer/Filter Strip

*Strip filter* awalnya digunakan sebagai praktik perawatan pertanian tetapi baru-baru ini berkembang menjadi praktik perkotaan juga. Dalam konteks pertanian, jalur *filter* vegetatif umumnya disebut sebagai area berpita dari tanaman yang ditanam atau vegetasi asli yang ditempatkan di antara area sumber pencemar potensial (pertanian) dan badan air permukaan yang menerima limpasan (Gambar 20A).



Sumber : <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS646>

**Gambar 21. Filter Strip**



*Filter Strip* sering digunakan bersama dengan *Best Management Practice* (BMP) lain, seperti nutrisi yang tepat dan manajemen hama untuk melindungi kualitas air. Beberapa lembaga negara bagian dan federal (misalnya, EPA) telah memasukkan VFS ke dalam gudang BMP pertanian mereka. Dalam konteks perkotaan, VFS adalah daerah yang landai, bervegetasi yang berdekatan dengan permukaan kedap air (Gambar 20B), seperti trotoar dan jalan raya.

5. Tong hujan (*rain barrels*) dan tangki air (*cistern*)

Tong hujan dan tangki air merupakan salah satu sarana detensi dalam pengelolaan air hujan pada bangunan gedung dan persilnya dengan volume tertentu. Secara umum tong hujan atau tangki air dapat dibangun diatas tanah atau di bawah tanah.



Sumber <https://foresteract.com/pemanenan-air-hujan-solusi-mengatasi-krisis-air-bersih-di-indonesia/>

**Gambar 22. Tong Hujan (*Rain Barrel*)**

6. *Paving permeabel*

*Permeabel paving* dapat dibangun di halaman rumah warga, atau tempat parkir fasilitas umum seperti gedung perkantoran, sekolah, tempat ibadah dan lain sebagainya.





Sumber : <https://www.techo-bloc.com/shop/pavers/victorien/>

**Gambar 23. Permeabel Paving**

## 7. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas, kiranya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Low Impact Development (LID) merupakan bagian dari system Pembangunan Berkelanjutan yang melibatkan banyak unsur. Keberhasilan system tersebut ditentukan melalui pemerintahan yang good governance yaitu pemerintahan yang dapat mengembangkan dan menetapkan prinsip-prinsip profesionalitas, akuntabilitas, transparansi, pelayanan prima, demokrasi, efisiensi, efektivitas, menegakkan supremasi hukum dan dapat diterima oleh seluruh masyarakat
2. Dari pendekatan system tersebut dapat dilakukan pembangunan dengan metode seri dan atau paralel pada suatu kawasan.
3. Penerapan teknologi Low Impact Development (LID) agar Zero Delta Q policy dapat dicapai dengan beberapa metode dalam satu kawasan.
4. LID diterapkan sesuai dengan kondisi/karakteristik kawasan setempat yang dapat berupa sumur resapan, bioretensi, parit infiltrasi dan lainnya atau dapat pula dikombinasikan.



## Referensi

- An Integrated Design Approach, Prince's George County Md, 1999
- Anderson, J. E. (2003). Public Policy Making: An Introduction (pp. 1-34). Boston: Houghton, Mifflin Company.
- Batzel, Geoffrey M. 2004. *Green Infrastructure: Viewing Natural Systems as Regional Infrastructure*.  
[http://info.worldbank.org/etools/docs/library/117795/UP\\_M3\\_%20Geoffrey%20Batzel.pdf](http://info.worldbank.org/etools/docs/library/117795/UP_M3_%20Geoffrey%20Batzel.pdf)
- Coffman L, 1999. *Low Impact Development Integrated Management Practise*, hlm 4-11, *Prince George's County, Maryland*
- Hetwisari, T., & Budienny, H. (2014). RUANG TERBUKA HIJAU PADA KAWASAN PERKOTAAN DALAM MENUNJANG ZERO DELTA Q POLICY Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan (Doctoral dissertation, Magister Teknik Sipil)
- Indriatmoko, R. H. (2018). Penerapan Prinsip Kebijakan Zero Delta Q dalam Pembangunan Wilayah. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1).
- Kodoatie, Robert J. & Sjarief, Roestam. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta : CV Andi Offset, hlm 152
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11/PRT/M/2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya.
- Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008, tentang Penataan Ruang
- Philadelphia Water Department. 2011. *Amended Green City Clean Waters*. Philadelphia, hlm 23
- Suripin. 2003. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : CV Andi Offset, hlm 74-77
- Undang-Undang No. 1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Kawasan Permukiman, Jakarta
- Wunas, Shirly. 2011. *Kota Humanis Integrasi Guna Lahan & Transportasi di Wilayah Suburban*. Surabaya: Brilian Internasional, hlm 55



## PROFIL PENULIS



**Ir. Hary Budienny, M.T.**, adalah staf pengajar di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, yang sekarang mengampu mata kuliah Rekayasa Lingkungan, Pengelolaan Sumber Daya Air, Hidrologi, Irigasi, Perancangan Bangunan Sipil Bendung, Statistika dan Probabilitas. Beberapa penelitian yang dilakukan lulusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro tahun 1987 dan Teknik Sumber Daya Air Universitas Gajah Mada 2001 ini diantaranya tentang analisis Optimasi Pengelolaan Sumber Daya Air Waduk Sermo 2001, anggota peneliti *Flood Distribution Management* 2009, *Benefits of Embungs in the Rawa Pening Catchment Area for Reducing Tuntang River Flood Discharge* 2018, Analisis Numerik di Sungai Dengkeng Menggunakan *Software International River Interface Cooperative (iRIC)* NAYS2DFLOOD 2019. Penulis bisa dihubungi melalui e-mail: [hary.budienny@live.undip.ac.id](mailto:hary.budienny@live.undip.ac.id).



**Ir. Dwi Kurniani, M.S.**, adalah staf pengajar di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, yang sekarang mengampu mata kuliah Mekanika Fluida, Hidraulika, Hidrologi Terapan, Irigasi, Perancangan Bangunan Sipil Bendung, dan Teknik Sungai. Beberapa penelitian yang dilakukan lulusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro tahun 1986 dan Teknik Sumber Daya Air ITB 1991 ini diantaranya tentang Analisis Pola Penyebaran Sedimentasi Muatan Suspendid di Reservoir 1991, anggota peneliti *Development of Permeable Pavement for Parking Area* 2017, Pengaruh Pembangunan Embung-embung di daerah tangkapan air Rawa Pening terhadap laju sedimentasi Rawa Pening 2018, Sistem Pengendalian Debit Banjir dan Pengendapan Sedimen di DAS Meteseh Kota Semarang 2019, Prediksi Umur Tampung dan Skenario Peningkatan Kapasitas Tampung Danau Rawa Pening terhadap Nilai Manfaatnya (Studi Kasus: Danau Rawa Pening) 2020. Penulis bisa dihubungi melalui e-mail: [dwikurniani@lecturer.undip.ac.id](mailto:dwikurniani@lecturer.undip.ac.id).





# MENJAGA FUNGSI WADUK DENGAN MODIFIKASI INFRASTRUKTUR

**Dyah A. Wulandari<sup>1</sup>, Lina D. Damayanti<sup>2</sup>, Dian Swastika<sup>2</sup>, Ricky Zefri<sup>2</sup>, Bramantyo Herawanto<sup>2</sup>, dan Muhammad F. Maulana<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## 1. Pendahuluan

Waduk adalah tampungan yang terbentuk karena adanya pembangunan bendungan. Selain menahan air dalam tampungannya, waduk juga menahan dan mengendapkan sebagian sedimen yang ikut aliran. Menurut Williams (2019) seperti semua infrastruktur lainnya, bendungan besar dibangun dengan umur rencana. Seiring dengan bertambahnya usia, bendungan menjadi lebih rentan terhadap kegagalan dan lebih mahal perawatannya. Penuaan struktur ini tidak hanya menimbulkan ancaman keselamatan untuk masyarakat di hilir bendungan tetapi juga berpengaruh terhadap aspek ekonomi maupun lingkungan.

Pada paradigma lama perencanaan bendungan, didasarkan pada umur waduk. Umur waduk ditentukan selama 50 atau 100 tahun dengan menyediakan tampungan mati untuk menyimpan sedimen yang diprediksi terjadi selama umur tersebut. Konsekuensi diluar umur rencana ini tidak dipertimbangkan. Paradigma baru perencanaan bendungan didasarkan pada pengelolaan sedimen berkelanjutan yang berfokus pada pengelolaan waduk dan sistem DAS untuk menyeimbangkan aliran sedimen inflow dan outflow sehingga dapat menyediakan masa layan waduk yang sangat lama atau tidak terbatas. Paradigma baru ini dapat diterapkan baik pada proyek bendungan baru maupun pada bendungan yang sudah beroperasi dimana perencanaannya masih menggunakan paradigma lama. Dengan menerapkan intervensi keberlanjutan yang spesifik maka



akan dapat memperpanjang umur waduk untuk pemanfaatan yang berkelanjutan. Dalam hal ini pemanfaatan berkelanjutan tidak berarti memberikan manfaat yang sama seperti saat masih baru, karena hilangnya kapasitas tampungan akibat sedimentasi seringkali tidak dapat dihindari dan pemulihan kapasitas tampungan kadang terlalu mahal untuk dilakukan (Annandale et al., 2016; Randle, 2021).

Sedimentasi waduk dapat menyebabkan penurunan kapasitas tampungan aktif waduk sehingga suplai air untuk PLTA, air baku dan irigasi berkurang, penurunan kapasitas tampungan banjir, membahayakan keselamatan operasi jika terjadi penyumbatan *outlet*, dan peningkatan abrasi pada bangunan baja dan peralatan mekanis karena meningkatnya muatan material tersuspensi. Selain itu berkurangnya muatan sedimen yang terbawa ke hilir waduk dapat menyebabkan masalah penggerusan dasar sungai (Boes et al., 2014). Akumulasi sedimen dapat mengurangi umur waduk dan, sebelum kapasitas tampungan berkurang secara signifikan fungsi waduk akan terganggu. Gangguan pasokan sedimen ke hilir dapat merusak sistem ekologi dan infrastruktur di hilir bendungan. Untuk bendungan baru dan yang sudah ada, strategi pengelolaan sedimen harus dievaluasi berdasarkan efisiensi biaya dan waktu daripada terus-menerus mengeruk karena kesederhanaan teknisnya. Kondisi lokasi, seperti akses jalan atau geometri, dapat mempengaruhi kesesuaian pengelolaan sedimen yang dapat diterapkan (Wang et al., 2018).

Waduk dengan permasalahan sedimentasi harus segera ditangani, jika tidak maka sedimen akan semakin menumpuk sehingga biaya penanganannya akan menjadi lebih mahal. Strategi yang dapat dilakukan untuk penanganan sedimentasi waduk adalah dengan mengurangi hasil sedimen dari daerah aliran sungai, meminimalkan pengendapan sedimen di waduk, mengeluarkan sedimen yang telah mengendap dan mengaplikasikan strategi-strategi yang adaptif tanpa memperhatikan keseimbangan sedimen. Gabungan dari beberapa strategi akan memberikan hasil yang lebih baik (Morris, 2020). Pengelolaan sedimen merupakan isu penting dalam rangka menjamin energi yang berkelanjutan untuk masa depan. Beberapa hal yang harus dilakukan dalam proses pengambilan keputusan untuk mengatasi berkurangnya kapasitas tampungan dan berkurangnya



masa layan akibat sedimentasi yaitu (i) meningkatkan pengetahuan tentang perilaku sedimen di waduk, (ii) mengukur sedimentasi di sungai dan waduk untuk kalibrasi perkiraan besar sedimen, (iii) mengembangkan strategi untuk pengelolaan sedimen, dan (iv) melaksanakan modifikasi infrastruktur untuk mengurangi masalah pada waduk dengan tingkat sedimentasi yang tinggi (Rio, 2020). Strategi pengelolaan sedimen yang berkelanjutan harus dikembangkan untuk semua waduk dan disertai dengan pemantauan yang tepat. Modifikasi struktural dan kegiatan pengelolaan di masa depan harus diselaraskan dengan strategi keberlanjutan jangka panjang (Annandale et al., 2016).

Modifikasi infrastruktur merupakan salah satu strategi adaptif yang dapat diterapkan dalam menjaga fungsi waduk yang berkelanjutan. Menurut Kondolf & Yi (2022) renovasi bendungan dilakukan karena adanya kerusakan pada bendungan itu sendiri, risiko kegagalan akibat gempa bumi atau tanah longsor ke dalam waduk, risiko pelimpahan karena perubahan kondisi hidrologi, akumulasi sedimen yang mengancam keberlanjutan jangka panjang bendungan dan layanannya, atau peningkatan standar lingkungan.

Modifikasi infrastruktur yang dilakukan pada bendungan yang telah terbangun memiliki dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan (aliran sungai dan ekosistemnya), sosial (pembebasan lahan, pemindahan infrastruktur umum), dan ekonomi (biaya proyek yang lebih rendah) dibandingkan dengan pembangunan bendungan baru (MLIT, 2022, 10 Juni). Selain itu masa konstruksinya juga lebih pendek.

## **2. Modifikasi Infrastruktur pada beberapa waduk**

Modifikasi infrastruktur yang akan dibahas selanjutnya adalah berupa perubahan-perubahan infrastruktur yang dilakukan pada bendungan, area waduk dan bangunan pelengkap pada bendungan lama yang mengalami permasalahan sedimentasi dan kenaikan debit inflow dalam rangka pemanfaatan yang berkelanjutan. Modifikasi infrastruktur yang dilakukan untuk perbaikan stabilitas struktur tidak dibahas.



Pada bendungan-bendungan lama yang berkurang kapasitas tampungan waduknya perlu dilakukan penggantian kapasitas yang hilang atau penambahan kapasitas, yang dapat dilakukan dengan peninggian tubuh bendungan. Penambahan kapasitas ini juga diperlukan apabila kebutuhan air yang harus disuplai meningkat. Dalam hal peninggian bendungan juga dilakukan untuk menghindari adanya overtopping. Selain itu dengan adanya perubahan iklim maka terjadi perubahan debit yang semakin besar sehingga kapasitas pengendalian banjirnya juga perlu ditingkatkan. Kapasitas pengendalian banjir dapat ditingkatkan dengan membuat pelimpah baru, memasang pintu pada pelimpah atau meningkatkan kapasitas pelimpah eksisting. Modifikasi infrastruktur ini juga dapat dilakukan dalam hal untuk mendukung operasi penanganan sedimentasi dengan metode flushing/sluicing.

## **2.1. Kompartemen**

Waduk berkompartemen adalah waduk di mana total volume tampungan dibagi menjadi dua, yang masing-masing beroperasi secara independen. Kompartemen dapat bersebelahan, dapat terdiri dari kompartemen yang lebih kecil di dalam kompartemen yang lebih besar, atau dapat terdiri dari dua tampungan terpisah yang dioperasikan sebagai satu sistem. Dengan kompartemen memungkinkan dua bagian tampungan dioperasikan secara terpisah dimana saat musim hujan, tampungan yang pertama digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan tampungan yang kedua dikosongkan untuk melewatkan aliran sedimen (Morris & Fan, 1997). Waduk yang menggunakan metode ini dalam penanganan sedimentasi waduk adalah Waduk Wonogiri.

Waduk Wonogiri terletak di Sungai Bengawan Solo, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Permasalahan utama di Waduk Wonogiri adalah tingginya laju erosi di Daerah Tangkapan Air, penurunan kapasitas tampungan efektif waduk dan pengendapan sedimen di sekitar intake yang berpotensi menyumbat intake (Kementerian PUPR, 2007a). Pengukuran sedimentasi waduk yang dilakukan pengelola (Perum Jasa Tirta I) pada tahun 2011 menghasilkan kapasitas tampungan matinya sudah berkurang 50 %



dan kapasitas tampungan efektifnya sudah berkurang 30% dari kapasitas tampungan desainnya (Wulandari et al., 2013).

Beberapa alternatif penanganan untuk mengurangi laju sedimentasi, mempertahankan/ menambah kapasitas tampungan waduk serta menjaga fungsi intake telah diusulkan. Penanganan secara struktural yang dipilih adalah pembangunan kompartemen yang dilengkapi pelimpah untuk *flushing/ sluicing* sedimen. Hal ini diputuskan dengan pertimbangan bahwa penanganan tersebut dapat menjaga fungsi waduk hingga 100 tahun mendatang, struktur dapat dibangun dalam kurun waktu 5 tahun, selama pelaksanaan pembangunan suplai kebutuhan air tidak terganggu dan biaya operasi dan pemeliharaan minimal (Kementerian PUPR, 2007b). Pembangunan kompartemen digunakan untuk menangani pengendapan sedimen di sekitar intake karena aliran sedimen dari Sungai Keduang (Kementerian PU, 2007a), seperti terlihat pada Gambar 1.

Menurut Kementerian PUPR (2007b) Kompartemen dibuat dengan tanggul pemisah/ *closure dike* dan tanggul pelimpah/ *overflow dike* yang dilengkapi dengan *conduit* untuk penyaluran air serta dioperasikan dengan bebas. Tampungan waduk dipisahkan menjadi 2 bagian yaitu tampungan utama (*main reservoir*) dan tampungan sedimen (*sediment storage reservoir*). Pada tampungan sedimen dilengkapi pelimpah (*spillway*) untuk keperluan penggelontoran (*flushing/ sluicing*) sedimen. Situasi Waduk Wonogiri setelah adanya kompartemen dapat dilihat pada Gambar 2. Tampungan sedimen akan melimpahkan kelebihan air ke tampungan utama melalui *conduit* dan *overflow spillway*. Aliran melalui *overflow spillway* didesain dua arah, bila elevasi muka air tampungan sedimen lebih tinggi dari elevasi muka air tampungan utama maka air dari Tampungan Sedimen melimpah ke Tampungan Utama dan begitu juga sebaliknya. Fungsi dari *closure dike* adalah untuk menahan aliran sedimen dan sampah yang masuk dari Sungai Keduang menuju intake sehingga intake akan bebas dari sumbatan. Selain itu untuk mengeluarkan sedimen yang tertampung di tampungan sedimen dapat dilakukan *flushing/ sluicing* sedimen tanpa menurunkan elevasi muka air di tampungan utama. Pengoperasian pintu *flushing/ sluicing* ini terutamanya dilakukan

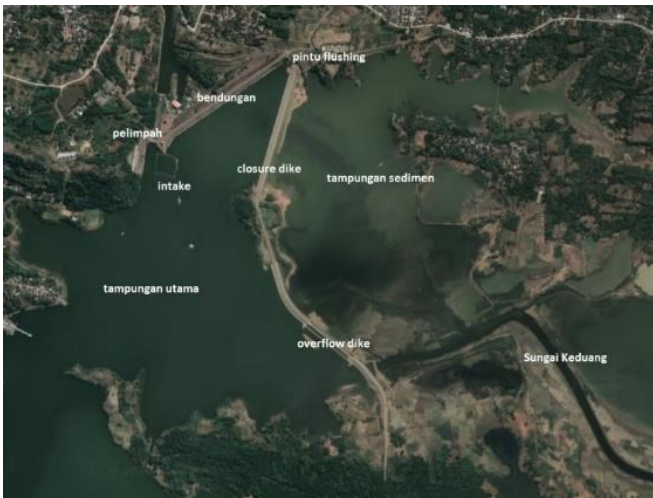


pada tahun hidrologi basah, karena air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air berlebih sehingga bisa dimanfaatkan untuk *flushing/ sluicing* (Wulandari et al., 2013). Pada Gambar 3 terlihat kompartemen di Waduk Wonogiri, tanggul (*closure dike*) yang memisahkan 2 tampungan, yaitu tampungan sedimen dengan air yang keruh dan tampungan utama dengan air yang jernih.



Sumber: Kementerian PUPR, 2007c

**Gambar 1. Aliran sedimen dari Sungai Keduang sebelum ada kompartemen**



Sumber: Google Earth, 2022

**Gambar 2. Situasi Waduk Wonogiri setelah ada kompartemen**





**Gambar 3. Kompartemen di Waduk Wonogiri**

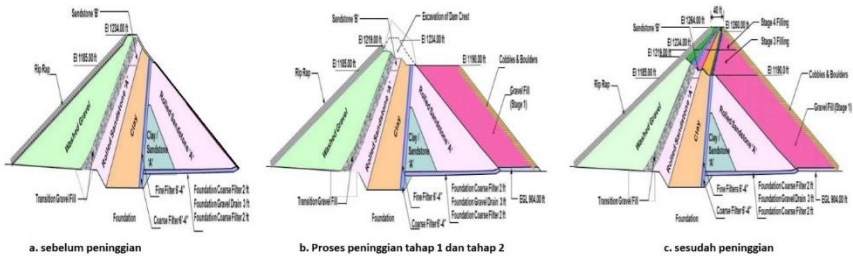
## 2.2 Peninggian Bendungan

Peninggian bendungan dilakukan untuk menambah kapasitas tampungan waduk yang berkurang karena sedimentasi atau untuk mencegah terjadinya *overtopping* akibat kenaikan debit inflow. Kapasitas tampungan yang berkurang akan mengganggu suplai kebutuhan air dan penahanan debit banjir. Tinjauan keamanan terhadap *overtopping* perlu dilakukan, hal ini dikarenakan banyak kegagalan bendungan yang disebabkan oleh estimasi banjir yang sudah tidak sesuai lagi atau kapasitas tampungan yang berkurang serta dimensi *outlet* yang terlalu kecil yang menyebabkan bendungan ini meluap. Salah satu cara untuk meningkatkan keamanan bendungan terhadap *overtopping*, adalah dengan meninggikan bendungan serta memodifikasi *outlet* terutama *spillway* (Adamo et al., 2020). Peninggian badan bendungan harus dilakukan tanpa mengganggu pengoperasian bendungan.

Peninggian bendungan telah dilakukan di Bendungan Mangla. Bendungan Mangla merupakan salah satu bendungan terbesar di Pakistan yang dibangun di Sungai Jhelum pada tahun 1967. Laju



sedimentasi Waduk Mangla sangat tinggi sehingga kapasitas tampungan totalnya telah berkurang 20% (Kayani, 2012; Sheik, 2006). Menurut Sheik (2006) peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan pangan yang meningkat pesat di Pakistan menyebabkan kebutuhan air juga meningkat, sehingga dirasa perlu untuk mengembalikan kapasitas tampungan Waduk Mangla yang hilang karena sedimentasi dan menambah tampungan air di Sistem Sungai Indus. Alternatif yang diusulkan adalah dengan membuat bendungan-bendungan kecil di hulu Waduk Mangla serta pengerukan Waduk Mangla. Secara teknis dan ekonomi, alternatif yang diusulkan ini tidak layak. Sedangkan Peninggian Bendungan Mangla dinilai akan memberikan keuntungan. Selain bendungan utama, naiknya elevasi muka air normal rencana menyebabkan saddle dam, pelimpah utama dan pelimpah darurat juga ikut dinaikkan elevasinya (Zeb et al., 2015). Penampang Bendungan Mangla sebelum dan sesudah peninggian serta tahapan konstruksinya dapat dilihat pada Gambar 4.

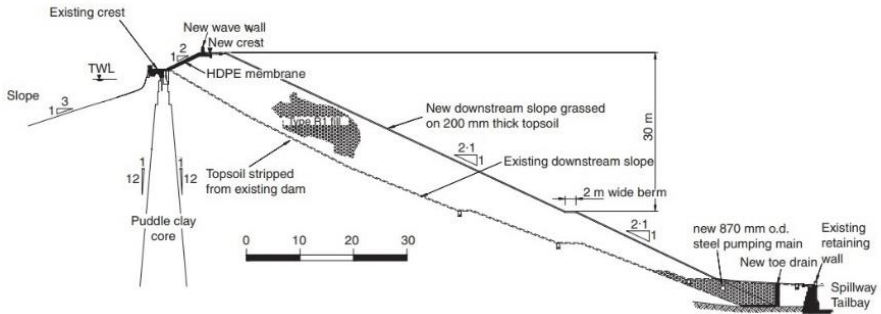


Sumber: Butt, 2022

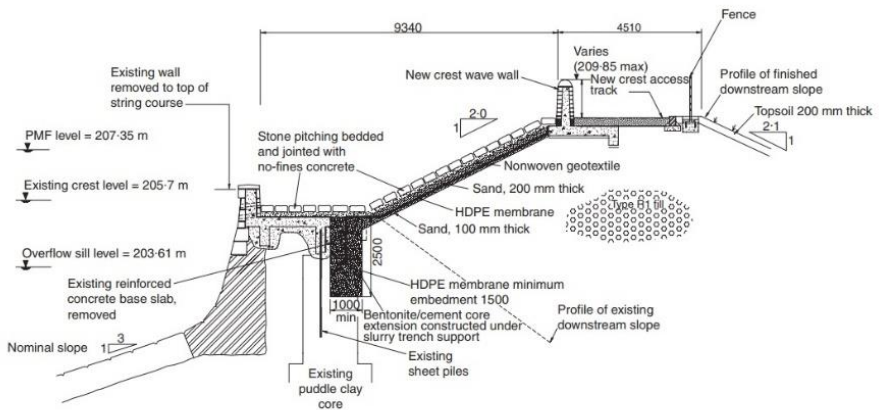
**Gambar 4. Bendungan Mangla sebelum dan sesudah peninggian**

Peninggian bendungan juga dilakukan di Bendungan Ladybower yang terletak di Taman Nasional Peak District Britain untuk mengantisipasi banjir dan memenuhi standar *freeboard* sampai tahun 2050 (Macdonald et al., 2004). Desain peninggian Bendungan Ladybower dapat dilihat pada Gambar 5.





a. Perubahan pada bagian hilir bendungan

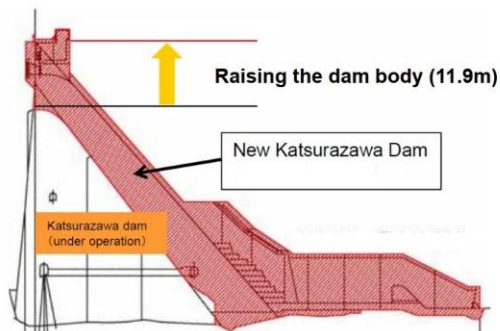


b. Detail perubahan pada puncak bendungan

Sumber: Macdonald, et al., 2004

### Gambar 5. Desain peninggian Bendungan Ladybower

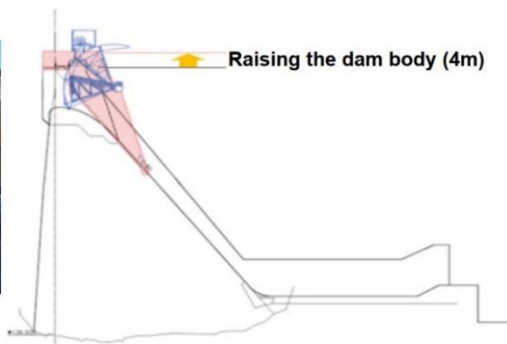
Bendungan Katzurawasa Jepang melakukan peninggian bendungan setinggi 11,9 m untuk meningkatkan kapasitas pengendalian banjir, pemenuhan kebutuhan irigasi dan fungsi lainnya (Adamo et al, 2020). Setelah peninggian kapasitas tampungan Bendungan Katzurawasa naik menjadi 147,3 juta m<sup>3</sup> dari 92,7 juta m<sup>3</sup> (MLIT, 2022, 10 Juni). Peninggian Bendungan Katzurawasa dapat dilihat pada Gambar 6.



Sumber: MLIT, 2022

**Gambar 6. Peninggian Bendungan Katsurazawa**

Sedangkan di Bendungan Kasabori Jepang dilakukan peninggian setinggi 4 m untuk memperbaiki kinerjanya dan meningkatkan keamanannya. Bendungan ini berfungsi untuk melayani pengendalian banjir, pasokan air bersih dan pembangkit listrik tenaga air (Adamo, 2020). Setelah peninggian kapasitas tampungan Bendungan Kasabori naik menjadi 17,2 juta m<sup>3</sup> dari 15,4 juta m<sup>3</sup> (MLIT, 2022, 10 Juni). Peninggian Bendungan Kasabori dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber: MLIT, 2022

**Gambar 7. Peninggian Bendungan Kasabori**



### 2.3 Modifikasi pelimpah

Modifikasi pelimpah dilakukan untuk meningkatkan kapasitas pengendalian banjir. Hal ini bisa dilakukan dengan membuat pelimpah baru atau meningkatkan kapasitas pelimpah yang ada.

Bendungan Clarrie Hall New South Wales dibangun tahun 1980. Bendungan ini direncanakan dan dirancang sesuai dengan standar teknik saat itu. Sesuai dengan persyaratan dari Komite Keamanan Bendungan New South Wales yang baru, menunjukkan bahwa meskipun pelimpah dapat melewati debit banjir besar dengan aman tetapi tidak akan dapat melakukan hal yang sama untuk kejadian curah hujan ekstrem meskipun kemungkinan terjadinya hujan ekstrem ini sangat kecil. Sehingga perlu dilakukan modifikasi yang meliputi pelebaran dan perluasan saluran pengarah di spillway (Gambar 8), pembangunan tembok pembatas di sepanjang puncak bendungan untuk meningkatkan tinggi jagaan dan mencegah air mengalir di atas bendungan pada peristiwa banjir ekstrim dan memungkinkan air untuk dilepaskan dengan aman melalui spillway. (Adamo et al., 2020).

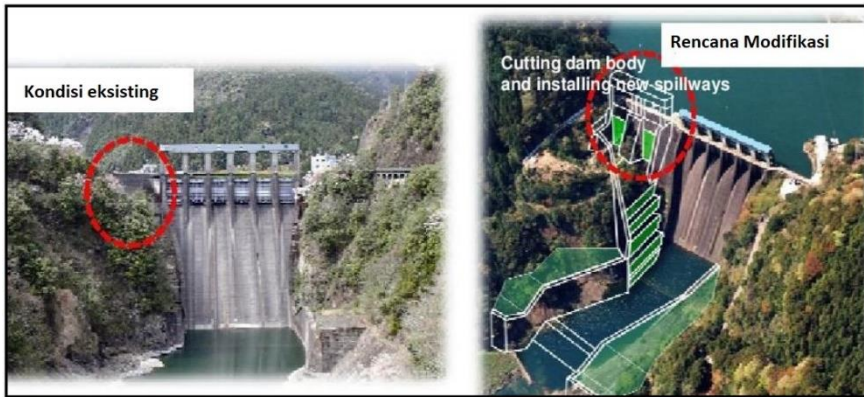


Sumber: Adamo et al., 2020

**Gambar 8. Modifikasi spillway di Bendungan Clarrie Hall**



Bendungan Nagayasuguchi merupakan bendungan gravitasi beton yang selesai dibangun pada tahun 1955 untuk melayani pembangkit listrik dan pengendalian banjir di Prefektur Tokushima di Jepang. Pelimpah pada bendungan ini ditambah lebar dengan dua pintu untuk meningkatkan kapasitas debit banjir (Adamo et al., 2020) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Sumber: Adamo et al., 2020

**Gambar 9. Penambahan pintu pelimpah Bendungan Nagayasuguchi**

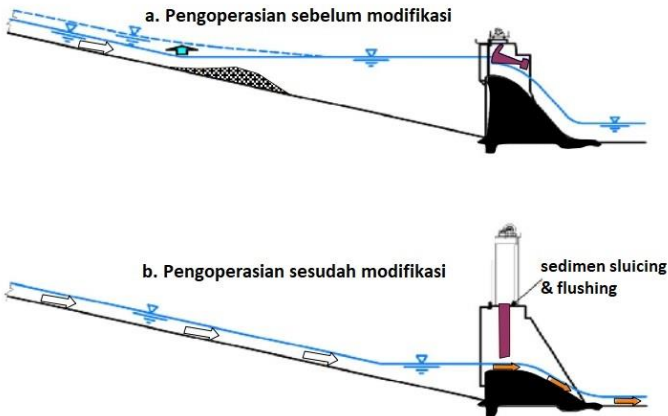
Bendungan Holjes dibangun di Sungai Klarälven Swedia pada tahun 1962 juga melakukan modifikasi pelimpah. Pada era itu, keamanan bendungan belum menjadi isu nasional, tanggung jawab sepenuhnya ada pada pengembang bendungan. Metode hidrologi yang digunakan untuk menentukan debit banjir rencana juga tidak akurat. Berdasarkan kriteria penentuan banjir rencana pada pedoman keamanan bendungan tahun 2015, banyak bendungan yang ada di Swedia ternyata memiliki debit banjir yang lebih tinggi daripada debit yang direncanakan pada saat pembangunan. Salah satunya adalah Bendungan Holjes sehingga kapasitas desain spillway Bendungan Höljes harus ditingkatkan untuk mengakomodir peningkatan debit rencana. Spillway baru dengan pintu radial dibuat selebar 17m, selain itu kolam olak juga dilebarkan (Adamo et al., 2020). Gambar 10 menunjukkan spillway Bendungan Holjes sebelum dan sesudah di rehabilitasi.





Sumber: Adamo et al., 2020

**Gambar 10. Modifikasi pelimpah di Bendungan Holjes**



Sumber: Peteuil et al., 2016; Sumi & Kantoush, 2016

**Gambar 11. Skema pengoperasian pintu**

Waduk-waduk di Sungai Mimi (7 waduk) telah mengalami sedimentasi dengan laju yang lebih besar dari laju sedimentasi rencana, terlebih setelah adanya topan. Jika aturan operasi saat ini tetap dilaksanakan tanpa memulihkan atau menambah fungsi bendungan baru, maka sedimen akan terus diendapkan di waduk. Oleh karena itu, dilakukan pengendalian sedimen dengan cara menarik sedimen yang telah mengendap di hulu waduk ke arah hilir dan kemudianselanjutnya melewatkannya keluar waduk melalui pelimpah (Gambar 11). Penanganan ini dilakukan secara seri untuk Waduk



Yamasubaru, Saigou, dan Oouchibaru. Parameter yang digunakan dalam penanganan sedimentasi ini adalah CAP/MAR (Total capacity/Mean annual runoff) dan CAP/MAS (Total capacity/Mean annual inflow sediment).



Sumber: Peteuil et al., 2016; Sumi & Kantoush, 2016

**Gambar 12. Modifikasi pelimpah Waduk Yamasubaru dan Waduk Saigou**

Berdasarkan parameter tersebut dapat dilihat bahwa dibandingkan dengan Waduk Kamishiiba, Tsukabaru, dan waduk lainnya yang berlokasi di bagian hulu, maka Waduk Yamasubaru, Saigou dan Oouchibaru memiliki CAP/ MAS yang rendah sehingga diperlukan penanganan sedimentasi dan berdasarkan nilai *turn over rate* waduk yang tinggi (CAP/MAR rendah) maka penanganan yang sesuai adalah dengan sedimen *flushing/ sluicing*. Untuk keperluan ini ketinggian muka air di dalam waduk harus diturunkan saat banjir sehingga diperlukan modifikasi pada bangunan pelimpah. Untuk Waduk Yamasubaru 2 pintu pelimpah digabung menjadi satu pintu



dan elevasinya diturunkan 9,3 m. Untuk Waduk Saigou empat pintu pelimpah dijadikan menjadi 2 pintu pelimpah dan elevasi puncak mercu pelimpah diturunkan 4,3 m. Sedangkan untuk Waduk Oouchibaru tata letak pelimpah sudah sesuai, hanya diperlukan penyesuaian operasi waduknya saja yaitu selama banjir elevasi muka air waduk akan diturunkan minimal 7 m (Peteuil et al., 2016; Sumi & Kantoush, 2016). Modifikasi pelimpah Waduk Yamasubaru dan Waduk Saigou dapat dilihat pada Gambar 12.

## 2.4 Modifikasi Intake

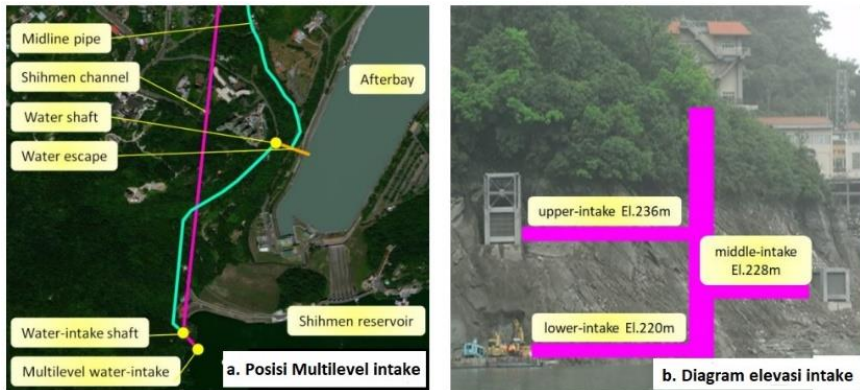
Modifikasi intake dilakukan untuk menghindari penyumbatan intake dari sedimen sehingga perlu dinaikkan elevasinya atau dipindah lokasinya. Pemindahan lokasi intake ke tempat yang lebih tinggi ini juga bisa dimaksudkan agar air yang dilewatkan lebih jernih, mengingat konsentrasi sedimen lebih besar di elevasi yang lebih rendah.

Bendungan yang menerapkan metode ini adalah Bendungan Shihmen di Taiwan. Badai yang sering melanda Taiwan menyebabkan *landslide* dan erosi di hulu dari Waduk Shihmen, sehingga sedimen dalam jumlah besar masuk ke waduk, selain itu kekeruhan air meningkat tajam, melebihi batas kapasitas penjernihan dari *water plant*. Situasi ini menyebabkan pasokan air di wilayah Taoyuan berhenti selama 18 hari. Untuk mengatasi permasalahan ini direncanakan pembangunan intake menjadi multilevel, membangun terowongan untuk *desilting* sedimen dan membangun Jhongjhuang *artificial lake* untuk menyimpan cadangan air bersih saat topan.

Desain intake Waduk Shihmen berada di posisi paling bawah untuk memastikan suplai air yang cukup pada musim kering. Ketika *density current* mengalir ke waduk selama musim angin topan, kekeruhan air biasanya berada di bagian bawah waduk. Ketika air keruh, kapasitas *water plant* tidak mampu untuk memproses air keruh tersebut, sehingga membuat suplai air baku juga terganggu. *Multilevel intake* dapat mengakses air bersih di beberapa level permukaan untuk menjaga stabilitas pasokan air baku.



Berdasarkan kondisi geologi, karakteristik *density current*, operasi banjir waduk, dan koneksi jalur pipa ke hilir, maka dibangun intake pada tiga ketinggian yang berbeda di bagian kiri abutmen bendungan seperti terlihat pada Gambar 13. Tantangan utama pada pembangunan *multilevel intake* adalah menyelesaikannya dalam waktu terbatas sementara waduk harus tetap beroperasi dengan ketinggian air yang berfluktuasi. Pada tahun 2009, pembangunan *Upper* dan *Middle Intake* serta pengujian sistemnya berhasil diselesaikan. Namun *Lower Intake* tidak dapat dibangun sampai ketinggian air lebih rendah dari el. 218,5 m. Ketinggian air yang begitu rendah berarti waduk dalam kondisi kekurangan air, sehingga konstruksi harus singkat (Tsai et al., 2019).



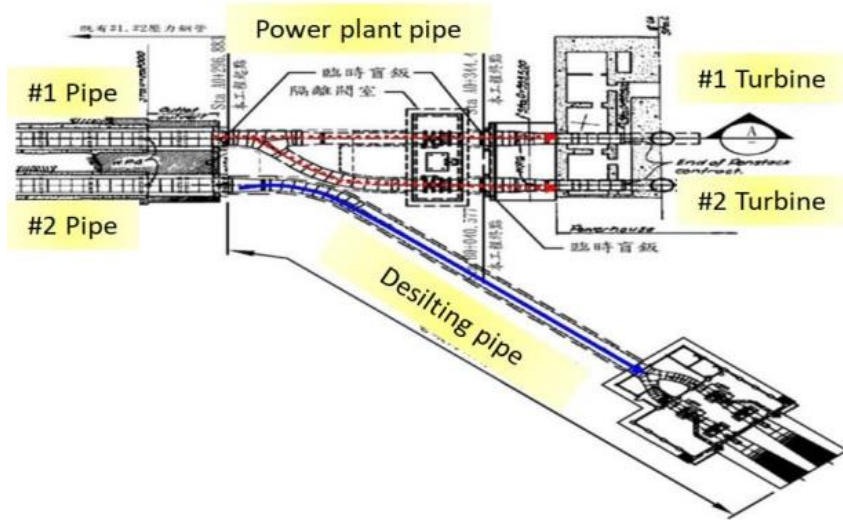
Sumber: Tsai et al., 2019

**Gambar 13. Multilevel intake**

Meskipun *multilevel intake* dapat mengalirkan air dengan kekeruhan yang rendah, menurut data pengamatan dari peristiwa topan sebelumnya, kekeruhan air permukaan masih meningkat tajam saat badai. Oleh karena itu perlu meningkatkan kemampuan pelepasan sedimen untuk melewati *density current*. Dengan cara ini, tidak hanya dapat menjaga kejernihan air tetapi juga mencegah pengendapan sedimen di dalam waduk. Menerapkan modifikasi pada waduk yang sedang beroperasi dan menjaga keamanan struktur bendungan tentulah sangat sulit. Sehingga dipilih penggunaan salah satu pipa baja intake turbin sebagai terowongan *desilting* sedimen.



Kemudian untuk mengembalikan fungsi generator listrik yang kedua, pipa baja listrik yang pertama dibagi menjadi dua *outlet* untuk mengalirkan air ke kedua generator di pembangkit listrik Shihmen (Gambar 14). *Desilting tunnel* meningkatkan pengeluaran sedimen hingga 35% dibandingkan dengan periode tanpa *desilting tunnel* selama terjadinya topan (Tsai et al., 2019).



Sumber: Tsai et al., 2019

**Gambar 14. Desilting Tunnel**

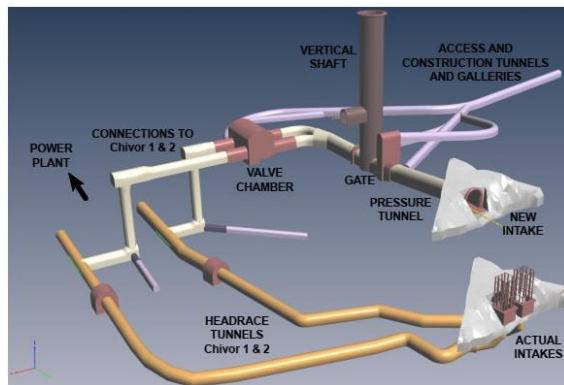
Modifikasi intake juga telah dilakukan di Waduk La Esmeralda Santa Maria Boyaca Colombia. Pada tahun 2017 Waduk La Esmeralda telah kehilangan lebih dari 20% kapasitas tampungannya dan biaya yang di perlukan per tahun dalam pemeliharaan (termasuk peralatan dan infrastruktur elektro-mekanis) karena sedimentasi cukup besar. Rata-rata laju sedimentasi per tahun sebesar 3,1 juta m<sup>3</sup>, pengurangan volume total waduk dari tahun 1975 sebesar 139 juta m<sup>3</sup> dan diperkirakan umur waduk hingga tahun 2027 saja.

Sedimentasi di waduk belum menimbulkan kesulitan untuk pengoperasian pembangkit listrik tenaga air. Mengingat sekitar 70% dari kebutuhan energi dipenuhi dengan PLTA, maka diperlukan



tindakan untuk menjamin pasokan energi di masa depan. Proyek dimulai dari studi dinamika sedimen, dengan mempertimbangkan aspek geoteknik, hidrolis, dan kendala konstruksi untuk pengembangan sistem intake baru yang akan mempertahankan kapasitas pembangkitan, bahkan dengan pengurangan volume akibat sedimentasi di waduk, untuk 50 tahun kedepan.

Beberapa penanganan yang diusulkan untuk memperpanjang umur waduk adalah konstruksi penghalang sedimen di hulu, pembangunan pengeluaran sedimen melalui pipa dan saluran pembuangan, pengeluaran sedimen secara mekanis, perbaikan tanah dan reboisasi daerah aliran sungai, serta modifikasi intake. Berdasarkan pertimbangan dari aspek teknis, lingkungan, dan keuangan, dipilih untuk membangun intake baru di Waduk La Esmeralda pada elevasi yang lebih tinggi, karena dapat mengurangi dampak lingkungan dan mengurangi hilangnya keuntungan karena proses konstruksi dapat dilakukan tanpa mempengaruhi operasi reguler pembangkit listrik. Sistem intake direncanakan seperti Gambar 15, sistem ini memungkinkan pekerjaan bawah tanah berlanjut dan waduk tetap beroperasi. Setelah intake baru dibangun dan dioperasikan, *Headrace Tunnel* akan ditutup (Rio et al., 2020). Pada Gambar 16 dapat dilihat intake baru di Waduk La Esmeralda.



Sumber: Rio et al., 2020

**Gambar 15. Sistem intake Waduk La Esmeralda**





Sumber: Rio et al., 2020

**Gambar 16. Intake Baru Waduk La Esmeralda**

### 3. Kesimpulan

Pada waduk-waduk lama yang mengalami permasalahan sedimentasi dan peningkatan debit inflow perlu dilakukan upaya-upaya penanganan untuk meningkatkan kinerjanya serta mempertahankan fungsinya. Salah satu metode penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan modifikasi infrastruktur antara lain dengan kompartemen, peninggian tubuh bendungan, modifikasi pelimpah dan modifikasi intake. Penerapan masing-masing metode ini berbeda-beda antara waduk yang satu dengan waduk yang lainnya tergantung dari permasalahan yang ada, karakteristik waduk dan infrastruktur terbangun yang ada, serta perlu dipertimbangkan dengan metode penanganan yang lainnya. Modifikasi infrastruktur ini dilakukan pada saat waduk sudah beroperasi sehingga selama pelaksanaan konstruksi tidak boleh mengganggu suplai untuk pemenuhan kebutuhan air. Penanganan dimungkinkan untuk dilaksanakan dalam waktu yang tidak terlalu lama, sehingga bisa segera beroperasi, serta dipastikan dapat menjaga fungsi waduk secara berkelanjutan dalam arti setelah mencapai umur rencana awal, waduk masih tetap berfungsi. Biaya operasi dan pemeliharannya minim, dan dikombinasikan dengan metode penanganan yang lainnya agar lebih efektif.



## Referensi

- Annandale, G.W., Morris, G.L., and Karki, P. (2016). *Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower*. Directions in Development. Washington, DC.
- Morris, G.L., & Fan J. (1997). *Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*, McGraw Hill, USA.
- Morris, G.L. (2020). Classification of Management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. *Water* 2020, 12, 861.
- Kementerian PU. (2007a). *Volume I : Executive Summary The Study On Countermeasures For Sedimentation in The Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir In The Republic Of Indonesia*, JICA.
- Kementerian PU. (2007b). *Volume IV : Supporting Report II The Study On Countermeasures For Sedimentation in The Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir In The Republic Of Indonesia*, JICA.
- Kementerian PU. (2007c). *Volume VII : Photo Book The Study On Countermeasures For Sedimentation in The Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir In The Republic Of Indonesia*, JICA.
- Wulandari, D.A., Legono, D., and Darsono, S. (2014). Reservoir Operation to Minimize Sedimentation, *International Journal of Science and Engineering*, Vol. 6(1), pp. 16-23.
- Boes, R.M., Auel, C., Haggmann, M., & Albayrak, I. (2014). Sediment bypass tunnels to mitigate reservoir sedimentation and restore sediment continuity In book: Reservoir sedimentation (pp.221-228), CRC Press, Taylor and Francis Group
- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Jan Laue, J., and Knutsson, S. (2020). Dam Safety and Overtopping, *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, Vol.10(6), pp. 41-78.
- Kayani, S.A. (2012). Mangla Dam Raising Project (Pakistan): General Review and Socio-Spatial Impact Assessment. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00719226>
- Wulandari, D.A., Legono, D., dan Darsono, S. (2014). Reservoir Operation to Minimize Sedimentation, *International Journal of Science and Engineering*, Vol. 6(1), pp. 16-23



- Sheikh, M.S. (2006). *Resettlement Aspects Of Mangla Dam Raising*, Pakistan Engineering Congress, 70th Annual Session Proceedings, pp. 159-168.Lad
- Sumi, T., Kantoush. S. (2016). Sediment Management Option by Sediment Sluicing in the Mimi River, Japan. 12th International Conference on Hydrosience & Engineering *Hydro-Science & Engineering for Environmental Resilience* November 6-10, Tainan, Taiwan.
- Peteuil, C., Sumi, T., Yoshimura, T., Camenen, B., Guertault, L. (2016). Feedbacks from Asia and Europe for designing sediment passing facilities in hydropower dam projects. HydroAsia, Vietiane, France. 12 p. fhal-01529948f: upgrading in
- Randle, T.J. (2021). Sustaining United States reservoir storage capacity: Need for a new paradigm *Journal of Hydrology* 602, 126686 a
- Kondolf, M. and Yi, J. (2022). Dam Renovation to Prolong Reservoir Life and Mitigate Dam Impacts *Water*, 14, 1464.
- MLIT (2022, 10 Juni). *Advanced Technologies to Upgrade Dams under Operation*. Retrieved from:  
<https://www.mlit.go.jp/river/kokusai/pdf/pdf02.pdf>
- Macdonald, A., Harwood, S.D.R., and Vaughan, P. R. (2004). Ladybower Dam: upgrading in a national park. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management 157 Issue WM1 Pages 13-20
- Butt, A.A. (2022, 4 Juni). *Construction Stages Of Mangla Dam Raising Project*. Retrieved from:  
[https://www.academia.edu/7368010/construction\\_stages\\_in\\_mangla\\_dam\\_raising\\_project](https://www.academia.edu/7368010/construction_stages_in_mangla_dam_raising_project)
- Zeb, J., Hayat, T. M., Akbar, A., Azam, M. (2015). Mangla Dam Raising: Effectiveness of Seepage Reduction Measures for Sukian Dyke, *International Journal of Geoenvironment Case Histories*, Vol. 3, Issue 2, p.73-83
- Wang, H.W., Kondolf, M., Tullos, D., and Kuo W.C. (2018). Sediment Management in Taiwan's Reservoirs and Barriers to Implementation, *Water*, 10, 1034; doi:10.3390/w10081034,1-26



- Tsai, W.C., Chang, Y. C., Li, S.W., Tsai, B. R. (2019). The Achievement of Shihmen Reservoir and its Catchments Management Project, 3<sup>rd</sup> International workshop on Sediment Bypass Tunnel, Taipei-Taiwan
- del Río, D.A., Moffett, H., Londoño, C.N., Vásquez, R.E., and Ana Escudero-Atehortúa, A.E. (2020). Chivor's Life Extension Project (CLEP): From Sediment Management to Development of a New Intake System. *Water*, 12, 2743
- Williams, S.C., Perera, E. D. P., Smakhtin, V. (2019). Assessing Global Trends in the Status, Causes, and Implications of Ageing Water Storage Infrastructure. 2nd International Conference on Natural Hazards & Infrastructure, Chania, Greece.



## PROFIL PENULIS



**Dr. Dyah Ari Wulandari, ST., MT.** adalah dosen dan Koordinator Laboratorium Pengaliran pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengajar di bidang Teknik sipil keairan. Beliau menyelesaikan doktoral di Universitas Diponegoro dengan topik disertasi sedimentasi dan operasi waduk. Bidang riset yang ditekuninya antara lain sedimentasi waduk, operasi waduk, dan eko drainase. Karya ilmiah beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal ilmiah maupun prosiding nasional dan internasional. Penulis dapat dihubungi di [dyah@lecturer.undip.ac.id](mailto:dyah@lecturer.undip.ac.id).



**Lina Dwi Damayanti, ST.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Operasi dan Instrumentasi Hidrometeorologi Bendungan) Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Penulis tercatat sebagai karya siswa program magister Super Spesialis antara Kementerian PUPR dan Universitas Diponegoro pada tahun 2021 setelah sebelumnya bekerja di Balai Wilayah Sungai Kalimantan IV Samarinda. Bidang yang ditekuni selama bekerja adalah perencanaan umum dan program meliputi penyusunan studi kelayakan dan perencanaan teknis, desain, dan pengembangan Sumber Daya Air di Wilayah Sungai (WS) Mahakam. Penulis dapat dihubungi di [linadwid@students.undip.ac.id](mailto:linadwid@students.undip.ac.id)



**Ricky Zefri, ST.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Operasi dan Instrumentasi Hidrometeorologi Bendungan) Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Penulis tercatat sebagai karya siswa program magister Super Spesialis kerjasama antara Kementerian PUPR dan Universitas Diponegoro pada tahun 2021, sebelumnya bekerja di Balai Wilayah Sungai Sumatera IV Batam. Karya tulis ilmiah telah dipublikasikan di beberapa jurnal nasional antara lain bidang sedimentasi waduk dan analisis risiko kegagalan bendungan. Pengalaman pada bidang bendungan adalah sebagai Ketua Panitia Peneliti Pelaksanaan Kontrak Pekerjaan Konstruksi Remedial Bendungan di BWS Sumatera IV Batam pada tahun 2020-2021. Penulis dapat dihubungi di [rickyzefri@students.undip.ac.id](mailto:rickyzefri@students.undip.ac.id)





**Bramantyo Herawanto, ST.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Retrofitting dan Instrumentasi Keamanan Bendungan) Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Penulis tercatat sebagai karya siswa program magister Super Spesialis kerjasama antara Kementerian PUPR dan Universitas Diponegoro pada tahun 2021, sebelumnya bekerja di Direktorat Bendungan dan Danau Jakarta. Bidang yang ditekuni selama bekerja adalah perencanaan teknis dan penganggaran serta tim reviu perkiraan biaya pekerjaan bendungan. Penulis dapat dihubungi di [bramantyoherawanto@students.undip.ac.id](mailto:bramantyoherawanto@students.undip.ac.id)



**Muhammad Fuad Mualana, ST.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Retrofitting dan Instrumentasi Keamanan Bendungan) Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Penulis tercatat sebagai karya siswa program magister Super Spesialis kerjasama antara Kementerian PUPR dan Universitas Diponegoro pada tahun 2021, sebelumnya bekerja di Direktorat Sungai dan Pantai Jakarta. Bidang yang ditekuni selama bekerja adalah penyiapan perumusan kebijakan pelaksanaan, bantuan dan bimbingan teknis, evaluasi pelaksanaan pengembangan pekerjaan sungai dan pantai. Penulis dapat dihubungi di [mfuadm@students.undip.ac.id](mailto:mfuadm@students.undip.ac.id)



**Dian Swastika, ST.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Operasi dan Instrumentasi Hidrometeorologi Bendungan) Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Penulis tercatat sebagai karya siswa program magister Super Spesialis kerjasama antara Kementerian PUPR dan Universitas Diponegoro pada tahun 2021, sebelumnya bekerja di Balai Wilayah Sungai Kalimantan IV Samarinda. Bidang yang ditekuni selama bekerja adalah Operasi dan Pemeliharaan di Wilayah Sungai (WS) Mahakam yang merupakan cakupan wilayah kerjanya. Penulis dapat dihubungi di [dianswastika@students.undip.ac.id](mailto:dianswastika@students.undip.ac.id)





# **PENGUNAAN SISTEM PERKUATAN FRP PADA BETON BERTULANG SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN KAPASITAS STRUKTUR BERKELANJUTAN**

**Banu A. Hidayat<sup>1</sup>, Bobby R. Indriyantho<sup>1</sup>, dan Lena T. Lestari<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## **1. Pendahuluan**

Seiring berjalannya waktu, suatu bangunan perlu dilakukan asesmen terkait dengan fungsinya dalam menahan beban. Tindakan ini perlu dilakukan disebabkan oleh adanya berbagai faktor, seperti masa layan bangunan yang telah terlewati, penggunaan dan perawatan bangunan yang tidak sesuai, penambahan beban eksternal yang tidak diantisipasi, faktor bencana alam seperti kebakaran atau gempa bumi, serta kemungkinan kekeliruan desain awal dan pelaksanaan konstruksi bangunan (Haryanto et al. 2021a, 2021b, 2021c). Adanya peraturan desain yang lebih mutakhir mengakibatkan beban yang seharusnya diperhitungkan untuk diterima struktur bangunan dapat menjadi bertambah. Selain itu, bangunan yang dibangun sejak zaman dahulu biasanya tidak memperhatikan detail penulangan, terutama yang terkait dengan komponen struktur penahan gempa. Bangunan eksisting tersebut akan rawan roboh yang mampu menyebabkan kerugian ekonomi dan jatuhnya korban jiwa (Hidayat et al. 2021, 2020, 2019).

Hasil dari penilaian kelayakan bangunan tersebut adalah ditemukannya retak atau kerusakan lainnya pada struktur bangunan. Sehingga diperlukan perkuatan struktur sebagai solusi atas kerusakan struktural yang mampu meningkatkan kapasitas bangunan sehingga dapat mencapai kekuatan rencana bangunan kembali. Perobohan dan pembangunan kembali dari suatu struktur dapat ditunda sehingga struktur bangunan dapat digunakan kembali secara berkelanjutan



serta mampu memenuhi persyaratan kekuatan secara teknis dan kenyamanan bagi penggunaannya. Penggunaan perkuatan struktur pada bangunan yang mengalami kegagalan tersebut sesuai dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) pada Tujuan 9, yaitu Industri, Inovasi, dan Infrastruktur dengan indikator membangun infrastruktur yang tangguh dan berkelanjutan.

Alternatif perkuatan pada struktur beton bertulang yang dapat digunakan adalah dengan memasang material Serat Berpolimer atau *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada permukaan beton. FRP merupakan material komposit yang terbentuk dari polimer dan serat yang kemudian direkatkan pada permukaan struktur dengan menggunakan zat matriks khusus. FRP diproduksi dengan berbagai bentuk, yaitu tipe *sheet* (lembaran), *rod* (batang), *string* (helaian), dan *plate* (lempengan plat), di mana masing-masing tipe banyak digunakan secara riil di lapangan.

Penggunaan FRP mampu meningkatkan kekuatan geser, lentur, maupun aksial dari komponen struktur, tergantung di mana FRP tersebut diaplikasikan. Seluruh bagian dari struktur bangunan yang mengalami perlemahan dapat dipasang perkuatan eksternal dengan FRP, mulai dari komponen kolom dan balok utama, plat lantai, pondasi, hingga dinding bata. Secara umum, desain perhitungan kebutuhan FRP dan pelaksanaan pemasangan FRP sebagai perkuatan eksternal struktur diatur pada dokumen ACI 440 (2017) dan SNI 8970 hingga 8975 (2021).

## 2. Properti Bahan

FRP diproduksi secara masal dengan memanaskan bahan prekursor organik yang terdapat kandungan serat melalui teknik pultrusi. Diameter serat yang ada pada FRP memiliki diameter antara 5 hingga 20  $\mu\text{m}$  sehingga bobotnya relatif ringan dibandingkan perkuatan struktur lainnya. Serat yang ada dalam FRP dapat berupa serat karbon, kaca, aramid, dan basalt. Sesuai standar desain ACI 440 (2017), FRP memiliki rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi dan kuat tarik yang sangat tinggi. FRP memiliki ketahanan terhadap tarik setara hampir sepuluh kali lipat lebih tinggi dari baja biasa. Selain





dengan kekuatan dan mutu yang relatif tinggi. CFRP memiliki kuat tarik sekitar 1.200 hingga 2.200 MPa dengan nilai modulus elastisitas sebesar 120 hingga 150 GPa. Nilai regangan ultimit FRP tipe ini adalah 1,0% hingga 1,9% (Amran et al. 2018).

### **FRP kaca (GFRP)**

GFRP menggunakan material kaca sebagai serat yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur. Keunggulan dari GFRP adalah tahan terhadap air garam, efek kimiawi dan kondisi basa. Selain itu, GFRP juga lebih mampu mengisolasi dan menahan panas (Cabral, 2005). Di antara tipe material FRP yang lain, GFRP terhitung memiliki harga yang lebih murah. Kuat tarik GFRP adalah sebesar 600 hingga 700 MPa dengan nilai modulus elastisitas sekitar 30% dari nilai modulus elastisitas CFRP. Sedangkan untuk nilai regangan ultimit adalah 1,5% hingga 2,0% dan untuk regangan rangkai GFRP adalah 0,3% hingga 1% (Amran et al. 2018).

### **FRP aramid (AFRP)**

Serat aramid adalah serat sintetis dengan kinerja tinggi yang dapat menahan panas serta memiliki modulus elastisitas dan kekuatan tarik yang tinggi. Material FRP dengan serat aramid ini mampu bertahan pada lingkungan yang basa dan kelembaban tinggi (Bagherpour, 2012 dan Sakurada, et al. 2006). Nilai regangan akibat rangkai AFRP adalah sebesar 0,15% hingga 1% dengan regangan putusnya bervariasi sekitar nilai 2% hingga 4%. Nilai ini relatif lebih besar dibandingkan tipe FRP lainnya. AFRP memiliki nilai kuat tarik sekitar 3.000 MPa dan nilai modulus elastisitas yang mendekati 100 GPa (Amran et al. 2018).

### **FRP basalt (BFRP)**

BFRP ini merupakan material yang apabila digunakan akan mampu meningkatkan kekakuan, kekuatan, dan nilai konduktivitas termal. Selain itu, BFRP juga tahan terhadap korosi akibat zat kimiawi dan zat fisik lainnya (Sarasini, et al. 2014). BFRP memiliki harga yang relatif lebih tinggi dibandingkan material lainnya. Namun, BFRP memiliki keunggulan kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap kondisi tertentu, dan sumber daya yang sangat banyak (Taerwel 1995). Nilai



regangan BFRP hingga putus adalah sekitar 2,2% dengan nilai kuat tarik sebesar 1,000 MPa. Modulus elastisitas BFRP ada pada rentang nilai yang dimiliki GFRP dan AFRP (Amran et al. 2018).

### 3. Jenis FRP

#### FRP Sheet

FRP sheet memiliki serat sintesis tertentu dengan kekuatan tinggi yang disatukan menjadi bentuk lembaran. Material penyusun FRP terdiri dari serat searah dan dibentuk serupa anyaman. Oleh karena itu, FRP sheet hanya kuat terhadap tarik pada arah serat. Sedangkan untuk arah sebaliknya, kekuatannya cukup rendah. FRP ini dapat diaplikasikan sebagai perkuatan pada struktur dengan berbagai permukaan dan geometri yang berbeda, misalnya pada kolom, balok, pondasi, *pile cap*, *girder* jembatan, dinding bata, dan lain sebagainya. Selain itu, FRP sheet dapat digunakan sebagai perkuatan lentur, geser, dan aksial pada komponen struktur tersebut. Penggunaan FRP sheet dari bahan serat karbon dan kaca, misalnya, dapat dikombinasikan menjadi dua lapis FRP pada satu permukaan yang sama, seperti pada penelitian Attari et al. (2012). Material FRP sheet ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Sumber: Sapulete. 2019

**Gambar 2. Material FRP Sheet**

#### FRP Rod

FRP berbentuk batang ini memerlukan perlakuan khusus agar bisa dipasang pada komponen struktur beton eksisting, yaitu menggunakan metode *Near Surface Mounted* (NSM) dengan cara



memberikan lubang tertentu pada permukaan beton untuk kemudian akan ditanam FRP rod tersebut. ACI 440 (2017) memberikan persyaratan bahwa kedalaman lubang untuk penanaman FRP rod adalah minimal 1,5 kali dari diameter FRP tersebut. Selain itu, tulangan eksisting yang ada di dalam komponen struktur harus dipastikan tidak mengalami kerusakan akibat adanya lubang dan proses penanaman FRP rod. Faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan lekatan FRP rod pada beton adalah panjang daerah lekatan, bentuk dan dimensi dari FRP rod, ukuran lubang penanaman, dan tipe epoksi yang digunakan (Capuzza, 2013). Secara umum, mekanisme keruntuhan yang ada pada lekatan FRP dan beton dipengaruhi oleh metode dan kondisi penanaman FRP rod tersebut (Budipriyanto, et al. 2018). Bentuk FRP rod ini ditunjukkan pada Gambar 3.



*Sumber: Sapulete. 2019*

**Gambar 3. Material FRP Rod**

### **FRP String**

FRP string terkadang disebut juga sebagai FRP rope, karena berupa material fleksibel yang menjadi satu kesatuan akibat adanya jaringan sambungan tipis. FRP ini terdiri dari serat tanpa matriks tersusun menjadi helaian FRP yang nantinya akan ditanamkan pada struktur beton eksisting. FRP string dapat dipasangkan melalui pemberian lubang alur pada permukaan beton eksisting atau metode NSM. Selain itu, FRP juga dipasangkan melalui adanya lubang tertentu pada beton sehingga akan membalut permukaan beton eksisting (Siddika et al. 2019 dan El-Saikaly et al. 2015). Gambar 4 berikut berisi mengenai material FRP string yang biasa digunakan.





Sumber: Utomo. 2021a

**Gambar 4. Material FRP String**

### **FRP Plate**

FRP plate memiliki bentuk yang lebih kaku dibandingkan dengan FRP sheet dengan ketebalan hingga sepuluh kali lipatnya. FRP plate biasa digunakan sebagai perkuatan struktur eksisting yang menerima beban dominan lentur, seperti pada bagian tengah balok. Pemasangan perkuatan dengan FRP plate menggunakan sistem *precured*, di mana menggunakan perekat epoksi sebagai media pemasangan FRP plate pada permukaan beton induk. Oleh karena itu, besar kemungkinan untuk terjadi kegagalan *de-bond* atau terlepasnya FRP plate dari beton. Hal tersebut kemudian dapat diatasi misalnya dengan pemberian angkur pada ujung penggunaan FRP (Zhou et al. 2018). FRP ini biasanya tidak mengalami kerusakan pada kondisi kering dan panas hingga suhu maksimal 50° C. Namun demikian, FRP ini tidak direkomendasikan untuk penggunaan luar ruangan yang terkena sinar matahari langsung. Gambar 5 menunjukkan penampakan material FRP plate.



Sumber: Utomo. 2021b

**Gambar 5. Material FRP Plate**



#### 4. Penelitian Pendukung

Pada dasarnya, penelitian mengenai perkuatan FRP pada komponen balok beton bertulang ini merupakan tahapan riset yang telah dijalankan oleh Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Seluruh rangkaian penelitian ini bertujuan untuk mewujudkan kondisi *sustainable* pada struktur bangunan yang mengalami kerusakan. Oleh karena itu, fokus riset-riset pada balok FRP ini adalah desain perkuatan, kondisi keruntuhan, peningkatan kapasitas beban, dan perilaku struktur lainnya.

##### FRP Sheet

FRP jenis ini telah diteliti untuk balok kondisi lentur dan geser dengan berbagai fokus riset, mulai dari kapasitas geser, kapasitas lentur, pencegahan lepasnya (*de-bonding*) FRP dari beton, revitalisasi balok retak, hingga faktor kekangan FRP (Suprpto et al. 2020, Tudjono et al. 2018, 2017a, 2017b, 2016, dan 2015). Kapasitas lentur balok dapat meningkat hingga 45% sedangkan kapasitas geser meningkat hingga 50% dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan. Kegagalan yang terjadi awalnya adalah *de-bonding* FRP dari beton, yang kemudian dikembangkan melalui metode perlakuan kekasaran permukaan beton dengan berbagai tipe *grooving*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya *grooving* mampu meningkatkan kuat lekatan FRP pada beton. Selain itu, adanya kekangan FRP pada beton mampu meningkatkan kapasitas balok hingga sebesar 32% dan nilai daktilitas hingga mencapai 43%.

##### FRP Rod

Penelitian perkuatan balok menggunakan FRP rod telah dilakukan oleh Sapulete (2019), Budipriyanto et al. (2018), dan Aylie et al. (2018) dengan berbagai fokus pembahasan. FRP rod harus diaplikasikan menggunakan metode NSM dengan ditanam pada lubang khusus dengan kedalaman sebesar 1,5 kali diameternya. Namun, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penanaman dengan kedalaman sebesar setengah dari ketentuan tetap menghasilkan peningkatan kapasitas sebesar 30%. Kondisi ini dapat terjadi apabila



syarat tebal selimut beton di lapangan tidak terpenuhi. Selain itu, kedalaman pemasangan FRP juga mempengaruhi tegangan geser dan bentuk keruntuhan pada balok beton. Pengaruh lekatan FRP rod pada beton juga dipengaruhi oleh bentuk penampang, panjang penanaman, kedalaman penanaman, dan juga jenis FRP.

### **FRP String**

Balok beton bertulang dengan perkuatan lentur dari FRP string diteliti oleh Utomo et al. (2021a). FRP string dipasang menggunakan metode NSM dengan membuat lubang tertentu di permukaan beton. Kontribusi dan efektivitas penggunaan FRP string menjadi fokus pada penelitian ini, karena pada ACI 440 (2017), perhitungan analisis dengan FRP string belum tersedia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas balok bertambah sebesar 32% dengan nilai defleksi vertikal yang meningkat hingga 26%. Kegagalan balok disebabkan oleh *de-bonding* FRP pada *interface* antara FRP string dan matriks epoksi, yang kemudian diikuti oleh putusnya FRP. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya konsentrasi tegangan pada area kegagalan pada beton.

### **FRP Plate**

Penggunaan FRP plate sebagai perkuatan lentur ditinjau dengan pengujian eksperimental di laboratorium oleh Utomo et al. (2021b). Perilaku struktur balok perkuatan FRP plate ditinjau untuk menganalisis kapasitas beban dan mode keruntuhan, yang kemudian peningkatannya dibandingkan dengan balok konvensional tanpa perkuatan. Selain itu, respon lekatan antara FRP plate dan beton juga dianalisis, terutama pada kondisi penjepitan FRP pada bagian ujung balok. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas lentur mampu ditingkatkan hingga sekitar 30% akibat penggunaan FRP plate. Adanya retak lentur juga terlihat lebih menyebar dengan nilai lebar retakan yang berkurang. Perilaku kegagalan pada balok perkuatan yang terjadi dapat dibedakan menjadi *de-bonding* pada resin epoksi, patahnya FRP plate, dan pengelupasan beton.



## 5. Kesimpulan

Penggunaan FRP sebagai perkuatan struktur sudah jamak dilakukan pada gedung eksisting yang mengalami alih fungsi bangunan, kerusakan akibat gempa bumi, kesalahan desain, dan lain sebagainya. Material FRP tersusun dari polimer dan serat yang dipasangkan menggunakan zat matriks tertentu pada permukaan struktur beton bertulang. Sehingga properti bahan FRP juga akan menyesuaikan serat yang ada pada material tersebut, yaitu karbon, kaca, aramid, dan basalt. Dengan masing-masing tipe FRP yang memiliki keunggulan dan kelemahan sendiri. Berbagai jenis FRP, yaitu FRP sheet, string, rod, dan plate, dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi di lapangan.

Desain perhitungan dan pelaksanaan pemasangan FRP diatur dalam standar ACI 440 (2017) dan SNI 8970 hingga 8975 (2021). FRP dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas beban lentur, geser, dan aksial dari berbagai komponen struktur. Telah banyak penelitian menunjukkan bahwa perkuatan struktur beton bertulang dengan FRP dapat meningkatkan kapasitas beban secara signifikan. Selain itu, model keruntuhan dan perilaku struktur dari komponen dapat diperbaiki agar dapat sesuai dengan kebutuhan. Namun, masih perlu dilakukan banyak penelitian lanjutan karena kebutuhan pemahaman mengenai FRP sebagai perkuatan struktur juga masih luas.

## Referensi

- ACI 440.2R-17. 2017. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures.
- Amran, M. Y. H., Alyousef, R., Rashid, R. S. M., Alabduljabbar, H., Hung, C.-C. 2018. Properties and Applications of FRP in Strengthening RC Structures: A Review. Structures, 16, 208–238.
- Attari, N., Amziane, S., Chemrouk, M. 2012. Flexural Strengthening of Concrete Beams Using CFRP, GFRP and Hybrid FRP Sheets. Construction and Building Materials, 37, 746–757.



- Aylie, H., Gan, B. S., Budipriyanto, A. 2018. Shear-Bond Behavior of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Rods and Sheets. *MATEC Web of Conferences*, 195, 02001.
- Bagherpour, S. 2012. *Fibre Reinforced Polyester Composites*. Edited by Hosam El-Din M. Saleh, 167.
- Budipriyanto, A., Han, A. L. Hu, H.-T. 2018. Bond-shear Behavior of FRP Rods as a Function of Attachment Configuration. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, 1(1), 9–17.
- Cabral-Fonseca, S. 2005. *Polymeric Composite Material Reinforced with Fibers Used in Civil Engineering – Features and Application*. Scientific and Technical Information, LNEC. Lisbon, Portuguese.
- Capuzza, R. 2013. Analysis of Bond-Slip Effects in RC Beams Strengthened with NSM CFRP rods. *Composite Structures*, 102, 110–123.
- El-Saikaly, G., Godat, A., Chaallal, O. 2015. New Anchorage Technique for FRP Shear-Strengthened RC T-Beams Using CFRP Rope. *Journal of Composites for Construction* 19, 1–11.
- Haryanto, Y., Hu, H.-T., Han, A. L., Hsiao, F.-P., Teng, C.-J., Hidayat, B. A., Nugroho, L. 2021a. Nonlinear 3D Model of Double Shear Lap Tests for the Bond of Near-surface Mounted FRP Rods in Concrete Considering Different Embedment Depth. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*.
- Haryanto, Y., Hu, H.-T., Han, A. L., Hsiao, F.-P., Teng, C.-J., Hidayat, B. A., Wariyatno, N. G. 2021b. Negative Moment Region Flexural Strengthening System of RC T-Beams with Half-Embedded NSM FRP Rods: A Parametric Analytical Approach. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*.
- Haryanto, Y., Hu, H.-T., Han, A. L., Hsiao, F.-P., Teng, C.-J., Hidayat, B. A., Nugroho, L. 2021c. Numerical Investigation on RC T-Beams Strengthened in the Negative Moment Region Using NSM FRP Rods at Various Depth of Embedment. *Computers and Concrete*, 28(4), 347–360.
- Hidayat, B. A., Hu, H.-T., Hsiao, F.-P., Shen, W.-C., Weng, P.-W., Han, A. L., Chan, L.-Y., Haryanto, Y. 2022. Modeling of Non-Ductile RC Structure Under Near-fault Ground Motions: A Nonlinear



- Finite Element Analysis. *Advances in Structural Engineering*, 25(9), 1–15.
- Hidayat, B. A., Hu, H.-T., Hsiao, F.-P., Han, A. L., Sosa, L., Chan, L.-Y., Haryanto, Y. 2021. Seismic Behavior and Failure Modes of Non-Ductile Three-Story Reinforced Concrete Structure: A Numerical Investigation. *Computers and Concrete*, 27(5), 457–472.
- Hidayat, B. A., Hu, H.-T., Hsiao, F.-P., Han, A. L., Pita, P., Haryanto, Y. 2020. Seismic Performance of Non-Ductile Detailing RC Frames: An Experimental Investigation. *Earthquakes and Structures*, 19(6), 485–498.
- Liu, H., Zhao, X., Al-Mahaidi, R. 2010. Effect of Fatigue Loading on Bond Strength Between CFRP Sheets and Steel Plates. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 10(01), 120.
- Sakurada, R., T. Shimomura, K. Maruyama, S. Matsubara. 2006. Bending Behavior of RC Beam Reinforced with Braided Aramid FRP Bar. *The 31 Conference on Our World in Concrete and Structures*.
- Sapulete, C. A. 2019. Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Lentur Fiber Reinforced Polymer Rod pada Balok dan Efektivitasnya. Master Thesis. Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sarasini, F., Tirillò, J., Ferrante, L., Valente, M., Valente, T., Lampani, L., Gaudenzi, P., Cioffi, S., Iannace, S., Sorrentino, L. 2014. Drop-weight Impact Behaviour of Woven Hybrid Basalt-carbon/poxy Composites. *Composites Part B: Engineering*, 59, 204–220.
- Siddika, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., Amran, Y. H. M. 2019. Strengthening of Reinforced Concrete Beams by Using Fiber-Reinforced Polymer Composites: A review. *Journal of Building Engineering*, 25, 100798.
- SNI 8970:2021. Panduan Perancangan dan Pelaksanaan Beton Struktural Bertulangan Batang Serat Berpolimer.
- SNI 8971:2021. Panduan Perancangan dan Pelaksanaan Sistem Lembaran Serat Berpolimer Terlekat Eksternal untuk Perkuatan Struktur Beton.



- SNI 8972:2021. Metode Uji Komposit Serat Berpolimer sebagai Penulangan atau Perkuatan Struktur Beton dan Masonri
- SNI 8973:2021. Struktur Beton Prategang dengan Tendon Serat Berpolimer.
- SNI 8974:2021. Spesifikasi Pelaksanaan Penggunaan Batang Tulangan dengan Serat Berpolimer.
- SNI 8975:2021. Spesifikasi Material Batang Serat Karbon dan Serat Gelas Berpolimer untuk Penulangan Beton.
- Suprpto, H., Tudjono, S., Susilorini, R. M. I. 2020. Study of the Role of CFRP Shear on Increased Bending Capacity of Reinforced Concrete Beams. In book: Engineering, Information, and Agricultural Technology in the Global Digital Revolution.
- Taerwe, L. 1995. Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Proceedings of the Second International RILEM Symposium, 29. CRC Press.
- Tudjono, S., Ay Lie, H., Gan, B. S. 2018. An Integrated System for Enhancing Flexural Members' Capacity via Combinations of the Fiber Reinforced Plastic Use, Retrofitting, and Surface Treatment Techniques. *International Journal of Technology*, 1, 5-15.
- Tudjono, S., Ay Lie, H., Gan, B. S. 2017a. Revitalization of Cracked Flexural Members Using Retrofitting and Synthetic Wrapping. *Procedia Engineering*, 171, 1123-1128.
- Tudjono, S., Ay Lie, H., Hidayat, A., Purwanto. 2017b. Experimental Study on the Concrete Surface Preparation Influence to the Tensile and Shear Bond Strength of Synthetic Wraps. *Procedia Engineering*, 171, 1116-1122.
- Tudjono, S., Ay Lie, H., Hidayat, B. A. 2015. An Experimental Study to the Influence of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Confinement on Beams Subjected to Bending and Shear. *Procedia Engineering*, 125, 1070-1075.
- Tudjono, S., Indarto, H., Devi, M. 2016. Experimental Study on Shear Capacity of RC Beams Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Mandated by ACI 440. *Applied Mechanics and Materials*, 845, 154-157.



- Utomo, J., Rabbani, N., Tudjono, S., Aylie, H., Sukamta. 2021a. The Influence of External CFRP String Reinforcement on the Behavior of Flexural RC Elements. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(3), 141–146.
- Utomo, J., Khusyeni, M.N., Partono, W., Han, A.L., Gan, B.S. 2021b. Experimental Investigation on the Failure Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Strengthened Reinforced Concrete T-beams. *Civil Engineering Dimension*, 23(2), 115–122
- Zhou, Jikai, Fengtong Bi, Zhiqiang Wang, and Jian Zhang. 2016. Experimental Investigation of Size Effect on Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Confined Concrete Circular Specimens. *Construction and Building Materials*, 127, 643–652.
- Zhou, Y., Wang, X., Sui, L., Xing, F., Wu, Y., Chen, C. 2018. Flexural Performance of FRP-plated RC Beams using H-type End Anchorage, *Composite Structures*, 206, 11–21.



## PROFIL PENULIS



**Banu Ardi Hidayat, S.T., M.T.** adalah dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengajar di bidang struktur. Beliau sedang menempuh studi doktoral di National Cheng Kung University, Taiwan. Bidang riset yang ditekuninya adalah permodelan elemen hingga dan struktur beton bertulang. Karya ilmiah beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal internasional bereputasi maupun prosiding nasional dan internasional. Penulis dapat dihubungi di [banuardi@live.undip.ac.id](mailto:banuardi@live.undip.ac.id).



**Dr.-Ing. Bobby Rio Indriyantho, S.T., M.T.** adalah dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengajar di bidang struktur. Beliau menyelesaikan studi doktoral di Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, Technische Universität Dresden, Jerman di bidang computational mechanics. Bidang riset yang ditekuninya antara lain permodelan elemen hingga, material dan struktur beton bertulang. Karya ilmiah beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal internasional bereputasi maupun prosiding nasional dan internasional. Penulis dapat dihubungi di [bobbyrio@live.undip.ac.id](mailto:bobbyrio@live.undip.ac.id).



**Lena Tri Lestari, S.T.** merupakan mahasiswa Magister Teknik Sipil (konsentrasi Struktur) Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Penulis tergabung dalam tim penelitian Universitas Diponegoro-Universitas Atma Jaya Yogyakarta-Nihon University (Jepang)-National United University (Taiwan) mengenai material Fiber-Reinforced Polymer (FRP) dan terlibat dalam tim perumusan SNI mengenai material FRP dalam tim



yang dibentuk oleh Komite Teknis 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil dan Bangunan Gedung, Direktorat Bina Teknik Perumahan dan Permukiman KemenPUPR. Penulis dapat dihubungi di [lenatrilestari@students.undip.ac.id](mailto:lenatrilestari@students.undip.ac.id).





# PENGUNAAN BETON GEOPOLIMER SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI YANG BERKELANJUTAN

**Bobby R. Indriyantho<sup>1</sup>, Banu A. Hidayat<sup>1</sup>, dan Rydell Riko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## 1. Pendahuluan

Konstruksi teknik sipil di berbagai belahan dunia seperti gedung bertingkat, perkerasan jalan raya, maupun jembatan bentang panjang, serta bangunan-bangunan yang mengutamakan tingkat keamanan sangat tinggi seperti reaktor nuklir, bangunan minyak lepas pantai atau pangkalan militer suatu negara, menggunakan beton sebagai material konstruksi utamanya (Purwanto *et al.*, 2022). Menurut data *Global Cement and Concrete Association*, penggunaan material beton secara global mencapai 14 milyar m<sup>3</sup> hanya pada tahun 2020 saja dengan 40% dari total produksi beton pada tahun tersebut digunakan untuk sektor perumahan. Jumlah produksi beton yang sangat besar tersebut tentunya berdampak juga terhadap produksi semen secara global yang mencapai 4,2 milyar ton pada tahun 2020. Hal ini berpengaruh terhadap nilai pasar produk semen dan beton secara global yaitu sekitar 440 milyar Dolar Amerika pada tahun 2020. Selain itu, berdasarkan data dari *Our World in Data* (Ritchie *et al.*, 2020), sektor industri berkontribusi menghasilkan emisi gas rumah kaca (*greenhouse gas emissions*) sebanyak 5,2%, di mana 3% dari kontribusi tersebut dihasilkan oleh proses manufaktur semen.

Sebanyak 6-8% dari emisi karbon dioksida secara global dihasilkan oleh proses produksi semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) dengan konsumsi energi sebesar 12-15% dari total energi industri (Andrew, 2019; Ali *et al.*, 2011) yang dilakukan pada saat pemanasan *limestone* secara masif dalam memproduksi *clinker* (Suhendro, 2014). Kenyataannya, negara Cina berkontribusi hingga



60% produksi semen di dunia, yaitu sekitar 2,45 milyar ton pada tahun 2014 (Shen *et al.*, 2017) yang menjadikan negara tersebut sebagai penyumbang emisi gas CO<sub>2</sub> terbesar secara global. Selain itu, usangnya teknologi yang digunakan untuk memproduksi semen di beberapa negara termasuk Cina, menghasilkan lebih banyak polusi udara yang pada akhirnya akan menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan sekitarnya (Uwasu *et al.*, 2014).

Penggunaan teknologi lama yang banyak menghasilkan emisi karbon dioksida pada proses produksi semen akan semakin ditinggalkan dan digantikan dengan teknologi baru. Beberapa teknologi untuk menangkap atau melokalisasi gas CO<sub>2</sub> ketika proses manufaktur semen telah dipelajari hingga saat ini (Li *et al.*, 2013; Vatopoulos dan Tzimas, 2012; Bosoaga *et al.*, 2009). Berdasarkan penelitian tersebut, teknologi *post-combustion*, *oxyfuel*, dan *carbonate looping* dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan pada saat proses produksi semen. Menurut Li *et al.* (2013) teknologi *post-combustion* atau pasca pembakaran akan diaplikasikan dalam skala besar pada sektor industri. Teknologi ini menangkap CO<sub>2</sub> dari gas buang pada tekanan dan temperatur rendah. Konsekuensinya, penggunaan teknologi ini membutuhkan tambahan energi sekitar 45% pada sistem, sedangkan tambahan 5% energi lain diperlukan untuk transport karbon dioksida. Pengembangan teknologi *oxyfuel* menghabiskan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *post-combustion*. Namun demikian, *oxyfuel* sangat menjanjikan untuk menangkap gas CO<sub>2</sub> dalam jangka panjang. Teknologi ini diperkirakan dapat mengurangi emisi karbon dioksida antara 63% sampai dengan hampir 100%. Selanjutnya, teknologi pendekatan untuk menangkap CO<sub>2</sub> adalah *carbonate looping*, yang saat ini masih merupakan usulan secara teoritis. Harapannya, teknologi ini dapat mengurangi sekitar 50% emisi gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan energi yang lebih rendah.

Di sisi lain, alih-alih menggunakan teknologi penangkap CO<sub>2</sub>, usaha yang lebih ekstrem dilakukan untuk mengurangi emisi karbon dioksida, yaitu mengganti semen dengan material lain yang bersifat mirip seperti semen dan menghasilkan suatu material beton ramah lingkungan yang tetap mempertahankan kekuatannya sesuai dengan perencanaan. Residu atau sisa mineral dari hasil proses pembakaran



batu bara di suatu pembangkit listrik dikenal dengan sebutan *fly ash* atau abu terbang. Material ini mempunyai kandungan untuk menggantikan semen *Portland* sebagai suatu pengikat (*binder*) dalam matriks mortar. Nantinya, *fly ash* yang bereaksi dengan campuran senyawa sebagai suatu aktivator yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) akan membentuk suatu material beton baru yang disebut beton geopolimer. Dengan adanya beton geopolimer yang diharapkan dapat menggantikan beton konvensional berbasis semen *Portland* pada suatu struktur bangunan, konstruksi hijau (*green construction*) yang berkelanjutan dapat diaplikasikan dan emisi gas rumah kaca lambat laun semakin berkurang. Di sisi lain, hal tersebut dapat mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 9, yaitu terkait industri, inovasi dan infrastruktur.

Nantinya, beton geopolimer ini akan digunakan untuk menggantikan beton konvensional terutama pada elemen-elemen struktural bangunan. Dalam hal perkuatan bangunan eksisting, beton geopolimer yang dapat memadat sendiri atau disebut *Self Compacting Geopolymer Concrete* (SCGC) telah digunakan sebagai komponen perkuatan *haunch* pada hubungan balok-kolom bangunan eksisting. Mengingat perencanaan struktur bangunan di Indonesia sangat bergantung dengan adanya beban gempa, *detailing* hubungan balok-kolom sangat penting untuk ditinjau, sehingga penggunaan *haunch* ini juga perlu diteliti pengaruhnya terhadap perilaku struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, sifat-sifat beton geopolimer biasa maupun SCGC berikut material penyusunnya akan dibahas, sehingga pada akhirnya penggunaan material beton tersebut dapat diterapkan sebagai perkuatan struktur yang dalam hal ini adalah balok *haunch* pada hubungan balok-kolom.

## 2. Geopolimer

Menurut Huang dan Han (2011), istilah geopolimer berarti suatu kerangka geopolimer yang tersusun atas *silico-oxide-alumino* (*sialate*) atau Si-O-Al, mirip dengan zeolit. Bedanya, geopolimer ini tidak berbentuk secara jelas (*amorphous*), bukan seperti kristal (*crystalline*). Reaksi kimiawi pada geopolimer disebut sebagai



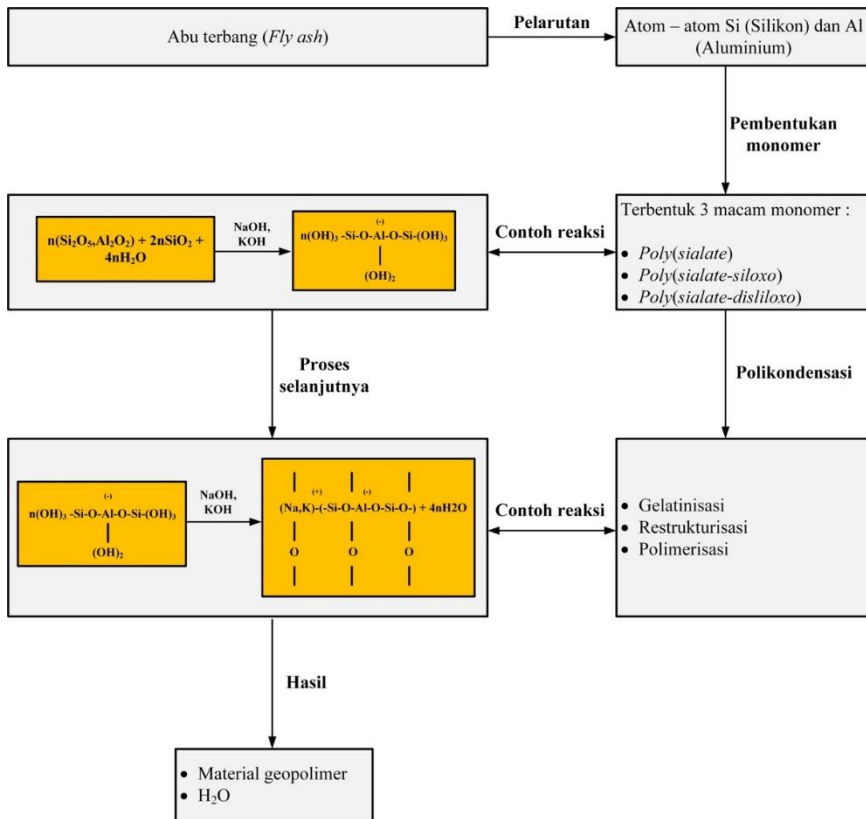
geopolimerisasi yang mana dipengaruhi oleh perbandingan kandungan senyawa silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dalam suatu sistem (Pimraksa *et al.*, 2011) dan dipengaruhi juga oleh temperatur (Feng *et al.*, 2012). Berdasarkan penjelasan Davidovits (1999), proses polimerisasi yang terjadi pada suatu struktur material geopolimer merupakan salah satu di antara ketiga formulasi berikut ini:

- a) *poly(sialate)*:  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-$
- b) *poly(sialate-siloxo)*:  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$
- c) *poly(sialate-disiloxo)*:  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$

dengan melalui tiga tahapan yaitu pelarutan atom-atom Si (silikon) dan Al (aluminium), dekomposisi ion prekursor menjadi monomer, serta polikondensasi monomer-monomer membentuk struktur-struktur polimer (Xu dan van Deventer, 2000). Di dalam polikondensasi terjadi proses gelatinisasi, restrukturisasi, kemudian polimerisasi. Pada akhirnya, proses polimerisasi tersebut akan menghasilkan material geopolimer dengan hasil sampingan  $\text{H}_2\text{O}$ . Adapun skema pembentukan material geopolimer diperlihatkan pada Gambar 1.

Material geopolimer mulai digunakan sebagai pengganti semen pabrikan, yaitu semen *Portland*, untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang sangat serius akibat emisi karbon dioksida berdasarkan data *Global Cement and Concrete Association* (GCCA) melalui suatu proyek pengurangan semen yang digagas oleh *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) dan *Cement Sustainability Initiative* (CSI). Semen geopolimer yang berasal dari material residu proses produksi besi yaitu *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS), atau material sisa pembakaran batu bara di suatu pembangkit listrik yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) ini digunakan untuk menggantikan *Ordinary Portland Cement* (OPC) dalam suatu material beton (Davidovits, 1994; Davidovits, 2002; Davidovits, 2020; Dawood & Mohammed, 2021; Palomo *et al.*, 1999). Di samping itu, Fu *et al.* (2021) menganjurkan penggunaan OPC untuk dikurangi karena semen tersebut mempunyai kandungan ion korosif sehingga nantinya beton secara keseluruhan akan mudah berkorosi.





**Gambar 1. Skema proses pembentukan material geopolimer.**

Semen geopolimer pertama yang mengandung komposisi *poly(sialate-siloxo)* dengan campuran senyawa  $\text{Si}_2\text{O}_5$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_2$  telah diusulkan dan dipatenkan oleh Professor Davidovits (Davidovits & Sawyer, 1985), sehingga menjadi pionir material geopolimer yang selanjutnya akan diteliti dan dikembangkan oleh peneliti-peneliti lainnya. Banyak penelitian menunjukkan bahwa material geopolimer dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan maupun material industri lain yang berkelanjutan karena dapat mengurangi emisi karbon dan efek gas rumah kaca yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Selain kelebihan tersebut, geopolimer juga mempunyai kekuatan setara dengan beton konvensional atau bahkan lebih tinggi, tahan terhadap bahan-bahan kimia yang merusak, serta memiliki kemampuan permeabilitas yang sangat rendah dan ketahanan



(durabilitas) yang sangat tinggi. Namun demikian, kajian dari segi ekonomis sedang banyak dilakukan apakah beton geopolimer ini nantinya lebih murah dan efisien dibandingkan dengan beton semen konvensional atau tidak.

### 3. ***Fly Ash-based Geopolymer Concrete (FAGC)***

Di antara material limbah yang telah banyak digunakan sebagai bahan penyusun material geopolimer, yaitu GGBS, *fly ash*, *bottom ash* dan metakaolin, *fly ash* mempunyai sifat-sifat yang paling menguntungkan untuk dibuat sebagai beton geopolimer. Selain mempunyai impermeabilitas yang baik, beton geopolimer berbasis *fly ash* atau *fly ash-based geopolymer concrete* (FAGC) juga memiliki durabilitas yang sangat baik, yaitu tahan terhadap korosi klorit, asam, sulfat dan karbonasi. Material *fly ash* dikategorikan menjadi dua kelas, yaitu kelas C dan kelas F sesuai dengan standar ASTM C618-19. Adapun perbedaan kelas tersebut ditandai oleh jumlah komposisi kandungan senyawa silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi(III) oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) di dalamnya. Ketiga senyawa tersebut harus berjumlah banyak di dalam *fly ash* agar dapat menggantikan semen, sedangkan senyawa kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) harus ada dalam kadar tertentu. Menurut ASTM C618-19, *fly ash* kelas C mengandung lebih dari 50% dari jumlah total senyawa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan jumlah  $\text{CaO}$  lebih dari 20%. Lain halnya dengan *fly ash* kelas F, kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  harus lebih dari 70%, sedangkan  $\text{CaO}$  tidak boleh lebih dari 10%. Informasi mengenai komposisi masing-masing senyawa di dalam *fly ash* dapat diketahui dengan melakukan uji laboratorium terhadap sampel *fly ash* menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) maupun *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

Untuk menghasilkan suatu ikatan yang kuat antara material-material penyusun beton geopolimer, *fly ash* dengan kelas F dipilih sebagai pengganti semen pabrikan. Agar terjadi proses geopolimerisasi yang kuat, *fly ash* sebagai pengikat (*binder*) direaksikan dengan suatu larutan alkali aktivator yang berasal dari campuran senyawa natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Menurut literatur (Hardjito *et al.*, 2004; Hardjito & Rangan,



2005), molaritas NaOH yang digunakan sebagai larutan aktivator bervariasi antara 8M hingga 16M dengan hasil kuat tekan beton geopolimer yang bervariasi pula. Namun demikian, larutan aktivator dengan rasio  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan NaOH sebesar 2,5 yang dicampur dengan NaOH 12M pada FAGC tercatat menghasilkan kuat tekan yang paling optimal (Abdullah *et al.*, 2011; Al Bakri *et al.*, 2012).

Karena pasta geopolimer ini sangat kental, workabilitas pada saat pengecoran berpotensi rendah sehingga beton segar akan cepat mengeras atau tidak lecah dan akan menyulitkan pengerjaan pengecoran. Sebenarnya penggunaan zat aditif *superplasticizer* dapat mengatasi permasalahan ini, tetapi nantinya kuat tekan beton dikhawatirkan akan turun dibandingkan perencanaan. Sebagai alternatif, Purwanto *et al.* (2022) menggunakan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tipe Be52 yang memiliki tekstur lebih encer daripada  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  tipe Be58, sehingga tidak perlu menggunakan tambahan *superplasticizer*. Nilai *slump* yang dihasilkan menunjukkan beton memiliki workabilitas yang cukup, yaitu sekitar 220 mm. Hasilnya, kuat tekan beton geopolimer meningkat hingga 57% pada umur beton 56 hari dibandingkan dengan beton konvensional menggunakan desain campuran yang proporsional (Purwanto *et al.*, 2022). Dengan demikian, FAGC sangat berpotensi diproduksi dalam skala besar untuk sedikit demi sedikit menggantikan keberadaan beton konvensional berbasis semen *Portland*.

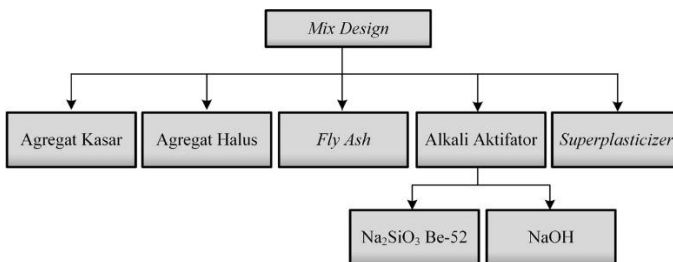
#### 4. ***Self-Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)***

Berkaitan dengan workabilitas, pengembangan teknologi beton geopolimer menuju ke arah material beton yang dapat memadat sendiri atau disebut *Self-Compacting Geopolymer Concrete (SCGC)*. Adapun penambahan kadar air mampu meningkatkan workabilitas beton, tetapi kadar air yang melebihi suatu batas akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* dan segregasi pada campuran yang berakhir pada menurunnya kuat tekan beton. Menurut Ahmed *et al.* (2011), kuat tekan beton menurun secara signifikan ketika penambahan kadar air melebihi 12% dari massa *fly ash* pada campuran SCGC berbasis *fly ash* rendah kalsium. Studi yang dilakukan oleh Praveen dan Srinivasan (2017) juga menyatakan bahwa kuat tekan SCGC mulai mengalami



penurunan pada penambahan kadar air melewati 12%, sedangkan segregasi dan *bleeding* terjadi ketika penambahan kadar air melebihi 15%.

Upaya lain yakni menambahkan *superplasticizer* untuk memperbaiki workabilitas SCGC. Penambahan *superplasticizer* yang disertai oleh penambahan molaritas NaOH dari 8M hingga 12M menunjukkan penurunan workabilitas dan meningkatkan kuat tekan beton geopolimer (Nuruddin *et al.*, 2011). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Henigal *et al.* (2017), semakin banyak persentase *fly ash* yang digunakan, kuat tekan SCGC meningkat terlebih ketika dosis *superplasticizer* yang digunakan juga ikut meningkat. Sama halnya, penambahan molaritas NaOH dari 8M ke 14M pun meningkatkan viskositas dan kelekatan campuran SCGC, tetapi kuat tekan ikut meningkat pula. Sementara itu, Purwanto *et al.* (2021) menyatakan bahwa kuat tarik SCGC meningkat 50% dibandingkan dengan beton konvensional, sedangkan *bond strength* antara tulangan baja dengan SCGC meningkat sekitar 63% dibandingkan beton biasa karena adanya ikatan kimia pada beton geopolimer. Hasil tersebut diperoleh dengan menggunakan campuran SCGC seperti pada Gambar 2.



Sumber: Purwanto *et al.*, 2021

**Gambar 2. Campuran SCGC**

Namun demikian, pembuatan SCGC dilakukan tidak hanya menggunakan material *fly ash*. Material limbah lain seperti GGBFS, *silica fume*, hingga abu sisa keramik dapat juga dibentuk SCGC dengan hasil kuat tekan yang tinggi. Ushaa *et al.* (2015) melakukan perbandingan ketika SCGC berbasis *fly ash* digantikan dengan material GGBFS dan *silica fume*. Penggantian dengan material *fly ash* dengan



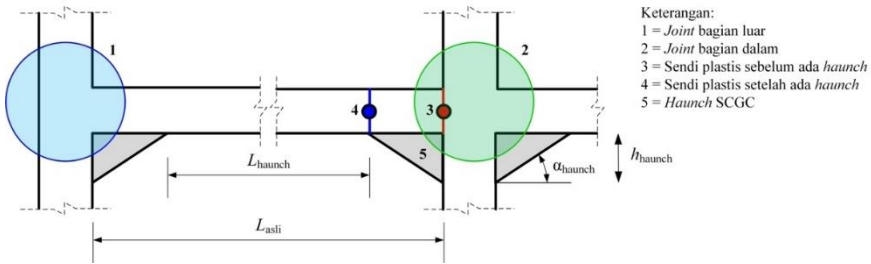
GGBFS dilakukan sebesar 10%, 20%, dan 30% sedangkan untuk material *silica fume* dilakukan penggantian sebesar 5%, 10%, dan 15%. Hasil uji kuat tekan, kuat tarik dan kuat belah untuk SCGC berbasis GGBFS menyatakan bahwa semakin tinggi persentase material penggantian, semakin tinggi pula kekuatannya. Namun untuk penggantian dengan material *silica fume*, peningkatan kekuatan hanya terjadi sampai persentase 10% dan pada persentase 15% malah terjadi penurunan. Pencampuran material GGBFS yang disertai peningkatan molaritas NaOH dari 8M hingga 12 M membantu campuran SCGC untuk mencapai nilai kuat tekan yang semakin tinggi (Sashidhar *et al.*, 2016).

Di sisi lain, campuran SCGC dengan proporsi 50% GGBFS dan 50% abu keramik menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan beton normal (Shafiq *et al.*, 2017). Sementara itu, Huseien *et al.* (2018) mengganti GGBFS dengan abu sisa keramik dengan persentase yang bervariasi dari 40% hingga 70%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase keramik pengganti GGBFS yang digunakan, semakin kecil pula nilai kuat tekannya. Selain itu, ketahanan beton terhadap gagal lentur juga semakin berkurang seiring meningkatnya penggunaan abu sisa keramik.

## 5. **Haunch sebagai Perkuatan**

Bangunan eksisting suatu saat akan memerlukan perkuatan apabila bangunan tersebut menderita beban melebihi beban rencana, seperti perubahan fungsi bangunan ataupun ketidaksesuaian beban rencana dengan beban yang terjadi di lapangan akibat desain yang keliru. Salah satu upaya perkuatan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *haunch* terutama pada hubungan balok kolom (Gambar 3). Balok *haunch* yang dipasang di muka kolom bertujuan untuk meningkatkan kapasitas, kekakuan, daktilitas baik *displacement* maupun *curvature*, mereduksi lendutan serta merelokasi tempat terjadinya sendi plastis pada balok. Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait pengaruh perkuatan *haunch* terhadap perilaku struktur.





**Gambar 3. Ilustrasi hubungan balok-kolom dengan haunch.**

Adanya *haunch* dapat mengurangi retakan yang terjadi yang disebabkan sendi plastis dan gaya geser yang terjadi pada muka kolom suatu struktur (Blakeley *et al.*, 1979). Sendi plastis yang terjadi di muka kolom pada balok beton bertulang dapat bergeser ke ujung *haunch* sehingga retakan yang terjadi tidak berlokasi di muka kolom tetapi akan menyebar ke daerah yang dekat dengan ujung *haunch* (Thurston, 1979). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *haunch* pada balok beton bertulang dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan dan ketahanan terhadap beban seismik sehingga dapat menambahkan umur masa layan suatu struktur dan menghindari gejala *debonding* pada hubungan balok kolom akibat momen inersia yang meningkat pada struktur. Sementara itu, pengaruh *haunch* balok komposit memberikan dampak bahwa adanya peningkatan daya dukung beban dan kapasitas beban pada kondisi *ultimate* secara signifikan (Ng *et al.*, 2012). Selain itu, keberadaan *haunch* mampu mendistribusikan momen yang terjadi akibat adanya sendi plastis hingga ke tengah bentang balok komposit.

Pergeseran lokasi sendi plastis maupun pola retak yang terjadi pada *haunch* sangat dipengaruhi oleh perubahan sudut *haunch*  $\alpha$ . Penelitian El-Niema (1988) dan Tena-Colunga *et al.* (2008) menunjukkan bahwa perubahan  $\alpha$  pada *haunch* mempengaruhi perilaku struktur saat pembebanan gaya geser dan dimensi *haunch* sehingga berpengaruh pula pada pola retak yang terjadi akibat pembebanan gaya geser. Dimensi *haunch* yang kecil memberikan defleksi relatif besar pada struktur, sedangkan dimensi *haunch* yang besar memberikan defleksi yang relatif kecil. Dimensi dan panjang *haunch* yang dibuat dengan berbagai sudut ini menjadi penahan



utama pada mekanisme kegagalan struktur karena kapasitas deformasi dan kuat gesernya akan meningkat. Sementara itu pada pembebanan siklik, kekuatan geser balok *haunch* beton bertulang dengan sudut *haunch*  $0^\circ$ ,  $3,21^\circ$ ,  $6,39^\circ$ ,  $8,19^\circ$  dan  $9,98^\circ$  memberikan dampak bahwa sudut *haunch*  $> 6^\circ$  sangat efisien dalam melakukan disipasi energi secara signifikan (Tena-Colunga *et al.*, 2017). Selain itu, penurunan kekakuan (*stiffness degradation*) struktur bertambah kecil seiring sudut *haunch* bertambah. Di sisi lain, adanya pemasangan sudut *haunch* yang berbeda yaitu  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $15^\circ$  memberikan dampak dapat mengurangi retakan utama yang merambat ke atas pada struktur balok CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) serta dapat pula meningkatkan kapasitas dan daktilitas struktur secara maksimal (Al Jawahery *et al.*, 2019).

Perihal beban gempa, Tena-Colunga *et al.* (1994) merangkum bahwa kinerja *haunch* pada balok beton bertulang harus ditinjau berdasarkan kuat tarik dan kuat geser yang terjadi terhadap komponen-komponen berikut ini:

- a) panjang penyaluran tulangan *haunch*,
- b) distribusi tulangan tarik pada balok beton bertulang dengan adanya *haunch*,
- c) rasio tinggi balok beton bertulang dengan *haunch*,
- d) rasio panjang *haunch* dengan bentang balok beton bertulang, dan
- e) kapasitas daktilitas yang terjadi antara balok dengan *haunch* dan tanpa *haunch* pada kondisi nonlinier.

Sementara itu, Zabihi *et al.* (2018) menyatakan bahwa *haunch* tunggal pada sambungan balok-kolom eksterior kurang efektif dalam perkuatan seismik karena efek panjang *haunch* ( $L_h$ ) dan rasio panjang bentang balok terhadap tinggi kolom ( $L_b/H_c$ ).

## 6. *Hauch* SCGC sebagai Perkuatan Balok di Muka Kolom

Beton geopolimer berbasis *fly ash* digunakan sebagai alternatif pengganti beton konvensional karena mempunyai keuntungan yaitu lebih ramah lingkungan di mana tidak menggunakan semen (*non-cement based*), memiliki kekuatan tekan dan tarik yang tinggi, memiliki ketahanan terhadap serangan sulfat dan asam yang lebih



baik, serta memiliki kekuatan ikatan atau daya lekat (*bond*) yang lebih tinggi dibanding beton konvensional. Mayoritas balok *haunch* terbuat dari material baja dan masih sedikit balok *haunch* yang terbuat dari beton konvensional (*Self Compacting Concrete* – SCC) dan sampai saat ini belum ada penelitian balok *haunch* yang terbuat dari material beton geopolimer yang dapat memadat sendiri atau SCGC. Studi kasus mengenai komponen perkuatan *haunch* dengan menggunakan SCGC dapat dilihat pada penelitian yang telah dilakukan oleh Purwanto *et al.* (2021).

Balok *haunch* SCGC memiliki kapasitas pembebanan, kekakuan, serta daktilitas (*displacement* dan *curvature*) yang lebih besar dari balok prismatis tetapi apabila dibandingkan dengan balok *haunch* SCC menunjukkan perilaku yang relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja beton geopolimer tidak jauh berbeda dengan beton konvensional. Balok *haunch* SCGC memiliki peningkatan kapasitas beban sebesar  $\pm 70\%$  dan peningkatan daktilitas sebesar  $\pm 30\%$  dari balok prismatis (Purwanto, 2021).

Balok *haunch* SCGC juga memiliki pola retak yang relatif sama dengan balok *haunch* SCC di mana proses retak lentur terjadi di lokasi ujung balok *haunch*. Proses perambatan retak dimulai dari beban mencapai kondisi *first crack* di mana retak pertama kali terjadi. Dengan penambahan beban secara incremental, maka balok akan mencapai kondisi di mana tulangan tarik akan leleh (*yield*). Retakan akan terus menjalar di sepanjang balok seiring dengan terjadinya deformasi yang semakin besar. Balok akan mencapai kondisi *ultimate* di mana beton akan hancur disertai lepasnya selimut beton. Hal ini dikarenakan besarnya tegangan yang terjadi pada beton melampaui *compressive strength* beton. Berdasarkan pola retak yang terjadi serta lokasi terjadinya regangan leleh pertama kali, dapat diketahui bahwa balok *haunch* SCGC mengalami plastifikasi pada ujung balok *haunch* (Purwanto, 2021).

## 7. Kesimpulan

Beton geopolimer berpotensi menjadi material konstruksi yang mempunyai lebih banyak kelebihan dibandingkan dengan beton konvensional berbasis semen Portland. Selain ramah lingkungan,



material geopolimer mempunyai kuat tekan tinggi, durabilitas tinggi, permeabilitas rendah dan juga tahan terhadap bahan-bahan kimia yang berpotensi merusak beton. Dalam skala besar, nantinya, beton geopolimer dapat menggantikan secara penuh keberadaan semen *Portland* dalam perencanaan campuran beton. Tentunya, upaya untuk mewujudkan material konstruksi yang berkelanjutan ini harus didukung banyak penelitian terutama terhadap sifat-sifat dan perilaku material beton geopolimer. Mengingat salah satu bahan penyusunnya, yaitu *fly ash*, yang merupakan material residu lokal, hasil beton secara keseluruhan tidak dapat disamaratakan dengan beton geopolimer yang diproduksi di tempat-tempat lain. Namun demikian, selain kajian teknis, material geopolimer juga sedang dikaji dalam segi ekonomis karena aktivator yang bereaksi dengan *fly ash* membentuk suatu *binder* tersebut masih diperoleh secara impor.

Potensi penggunaan beton geopolimer selain sebagai material utama suatu struktur bangunan dapat pula diimplementasikan sebagai perkuatan suatu bangunan eksisting. Salah satunya yaitu mengganti *haunch* pada hubungan balok kolom yang terbuat dari beton konvensional menggunakan beton geopolimer yang dapat memadat sendiri atau SCGC. Keuntungan menggunakan SCGC ini yaitu memudahkan pelaksanaan di lapangan mengingat adanya jarak yang sangat sempit untuk mengecor *haunch* pada bangunan eksisting, sehingga pelaksanaan pengecoran beton mutlak harus dilakukan tanpa alat pematat. Dengan adanya SCGC ini, beton geopolimer yang dicor dapat memadat dengan sendirinya sehingga dapat meminimalkan potensi keropos pada beton tersebut.



## Referensi

- Abdullah, M. M. A., Kamarudin, H., Mohammed, H., Nizar, I. K., Rafiza, A.R., & Zarina, Y. (2011). The relationship of NaOH molarity, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH ratio, fly ash/alkaline activator ratio, and curing temperature to the strength of fly ash-based geopolymer. *Advanced Materials Research*, 328–330, 1475–1482. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.1475>.
- Ahmed, M. F., Nuruddin, M. F., & Shafiq, N. (2011). Compressive strength and workability characteristics of low-calcium fly ash-based self-compacting geopolymer concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 74, 8–14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1330481>.
- Al Bakri, A. M. M., Kamarudin, H., Nizar, I. K., Binhussain, M., Zarina, Y., & Rafiza, A.R. (2012). Correlation between Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH ratio and fly ash/alkaline activator ratio to the strength of geopolymer. *Advanced Materials Research*, 341–342, 189–193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.341-342.189>.
- Ali, M. B., Saidur, R., & Hossain, M. S. (2011). A review on emission analysis in cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2252–2261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.014>.
- Aris, R. H., Bachtiar, E., & Makbul, R. (2021). Workability dan sifat mekanik Self Compacting Geopolimer Concrete (SCGC). *Civilla : Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 6(2), 267–277. <https://doi.org/10.30736/cvl.v2i2>.
- Ardiantoro, D., Sunarsih, E. S., & Sucipto, T. L. A. (2021). The role of rice husk ash in enhancing the fresh properties, density, and compressive strength of fly ash based self compacting geopolymer concrete. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1808). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1808/1/012014>.
- Andrew, R. M. (2019). Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928–2018. *Earth System Science Data*, 11, 1675–1710. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>.



- Anisa, E. A., Afriansya, R., Randisyah, J., & Astuti, P. (2021). Studi pemanfaatan prekursor fly ash lokal pada Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC). *Semesta Teknika*, 24(2), 111–119. <https://doi.org/10.18196/st.v24i2.13075>.
- ASTM C618–19. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. *ASTM International*, 2019.
- Blakeley, R. W. G., Edmonds, F. D., Megget, L. M., & Wood, J. H. (1979). Cyclic load testing of two refined reinforced concrete beam-column joints. *Journal of the New England Water Pollution Control Association*, 12(3), 459–472. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.12.3.238-255>.
- Bosoaga, A., Masek, O., & Oakey, J. E. (2009). CO<sub>2</sub> capture technologies for cement industry. *Energy Procedia*, 1, 133–140.
- Davidovits, J. & Sawyer, J. L. (1985). Early high-strength mineral polymer. US Patent No. US4509985A.
- Davidovits, J. (1994). Properties of geopolymer cements. In *Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, Ukraine, pp. 131–149.
- Davidovits, J. (1999). Chemistry of geopolymeric systems terminology. In *Proceedings of the International Conference on Geopolymers*, France, pp. 9–40.
- Davidovits, J. (2002). 30 years of successes and failure in geopolymer applications: Market trends and potential breakthroughs. In *Proceedings of the Geopolymer Conference*, Australia.
- Davidovits, J. (2020). Geopolymer Chemistry and Applications, 5th Edition. Geopolymer Institute, Saint-Quentin, France.
- Dawood, E. T. & Mohammed, W.T. (2021). Characteristics of green mortar containing fly ash with the addition of different plasticizers. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 12(3).
- El-Niema, E. I. (1988). Investigation of Concrete Haunched T-Beams under Shear. *Journal of Structural Engineering*, 114(4), 917–930. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1988\)114:4\(917\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:4(917)).



- Feng, D., Provis, J. L., & van Deventer, J. S. J. (2012). Thermal activation of albite for the synthesis of one-part mix geopolymers. *Journal of the American Ceramic Society*, 95, 565–572. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2011.04925.x>.
- Fu, Q., Xu, W., Zhao, X., Bu, M., Yuan, Q., & Niu, D. (2021). The microstructure and durability of fly ash-based geopolymer concrete: A review. *Ceramics International*, 47(21), 29550–29566. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.07.190>.
- Hardjito, D. & Rangan, B. V. (2005). Development and properties of low- calcium fly ash-based geopolymer concrete. *Research Report- GC1*, Curtin University of Tecnology, Perth, Australia.
- Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D .M. J., & Rangan, B. V. (2004). On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal*, 101, 467–472.
- Henigal, A. M., Sherif, M. A., & Hassan, H. H. (2017). Study on properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(02), 52–66. <https://doi.org/10.9790/1684-1402075266>.
- Huang, Y. & Han, M. (2011). The influence of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on microstructure, mechanical and formaldehyde adsorption properties of fly ash-based geopolymer products. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 90–94. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.029>.
- Huseien, G. F., Mirza, J., & Ismail, M. (2018). Effects of High Volume Ceramic Binders on Flexural Strength of Self-Compacting Geopolymer Concrete. *Advanced Science Letters*, 24(6), 4097–4101. <https://doi.org/10.1166/asl.2018.11549>.
- Indriyantho, B. R., Hidayati, N., Qomaruddin, M., & Ferdiansah, F. F. (2022). Analisis pengaruh zat polimer paving block FAB A (fly ash & bottom ash) dengan variabel semen dan fly ash PLTU TJB Jepara. *Jurnal DISPROTEK* 13(1), 82–88. <https://doi.org/10.34001/jdpt.v13i1.3120>.
- Li, J., Tharakan, P., Macdonald, D., & Liang, X. (2013). Technological, economic and financial prospects of carbon dioxide capture in the cement industry. *Energy Policy*, 61, 1377–1387. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.082>.



- Ng, Y. H., Shanmugam, N. E., & Liew, Y. J. R. (2012). Experimental studies on composite haunch beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 75, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.03.016>.
- Nuruddin, M. F., Demie, S., Ahmed, M. F., & Shafiq, N. (2011). Effect of superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 51, 907–914. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1062742>.
- Patel, Y. J., & Shah, N. (2018). Enhancement of the properties of Ground Granulated Blast Furnace Slag based Self Compacting Geopolymer Concrete by incorporating Rice Husk Ash. *Construction and Building Materials*, 171, 654–662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.166>.
- Palomo, A., Grutzeck, M. W., & Blanco, M. T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research*, 29, 1323–1329. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00243-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9).
- Praveen, P. U., & Srinivasan, K. (2017). Self-compacting geopolymer concrete - A review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 263). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032024>.
- Purwanto. (2021). Self Compacting Geopolymer Concrete (SCGC) Haunch Sebagai Perkuatan Balok Lentur di Zona Dekat Muka Kolom. *Disertasi, Program Studi Doktor Ilmu Teknik Sipil*, Universitas Diponegoro, Indonesia.
- Purwanto, Han, A. L., Ekaputri, J. J., Nuroji, & Prasetya, B. H. (2021). Self-compacting-geopolymer-concrete (SCGC) retrofitted haunch. *International Journal on Engineering Applications*, 9(4), 180–189. <https://doi.org/10.15866/irea.v9i4.20652>.
- Purwanto, Indriyantho, B. R., Nuroji, Ekaputri, J. J., Riko, R., Gan, B. S., & Han, A. L. (2022). Mix design formulation and stress-strain relationship of fly ash-based workable geopolymer concrete: an experimental study. *International Review of Civil Engineering* (accepted).



- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *Published online at OurWorldInData.org*. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- Sashidhar, C., Jawahar, J. G., Neelima, C., & Kumar, D. P. (2016). Preliminary studies on self compacting geopolymer concrete using manufactured sand. *Asian Journal of Civil Engineering*, 17(3), 277–288.
- Shafiq, I., Azreen, M., & Hussin, M. W. (2017). Sulphuric Acid Resistant of Self Compacted Geopolymer Concrete Containing Slag and Ceramic Waste. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 97). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701102>.
- Shen, W., Liu, Y., Yan, B., Wang, J., He, P., Zhou, C., Huo, X., Zhang, W., Xu, G., & Ding, Q. (2017). Cement industry of China: Driving force, environment impact and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 618–628. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.033>.
- Tena-Colunga, A., Archundia-Aranda, H. I., Yan, B., & González-Cuevas, Ó. M. (2008). Behavior of reinforced concrete haunched beams subjected to static shear loading. *Engineering Structures*, 30(2), 478–492. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.04.017>.
- Thurston, S. J. (1982). Cyclic load testing of three haunched reinforced concrete beam-column assemblies. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 15(3), 141–153. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.15.3.141-153>.
- Ushaa, T. G., Anuradha, R., & Venkatasubramani, G. S. (2015). Performance of self-compacting geopolymer concrete containing different mineral admixtures. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 22(4), 473–481. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/32173>.
- Uwasu, M., Hara, K., & Yabar, H. (2014). World cement production and environmental implications. *Environmental Development*, 10, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.02.005>.
- Vatopoulos, K., & Tzimas, E. (2012). Assessment of CO<sub>2</sub> capture technologies in cement manufacturing process. *Journal of*

*Cleaner Production*, 32, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.013>.

Xu, H. & van Deventer, J. S. J. (2000). The geopolymerisation of alumino- silicate minerals. *International Journal of Mineral Processing*, 59, 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.013>.



## PROFIL PENULIS



**Dr.-Ing. Bobby Rio Indriyantho, S.T., M.T.** adalah dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengajar di bidang struktur. Beliau menyelesaikan studi doktoral di Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, Technische Universität Dresden, Jerman di bidang computational mechanics. Bidang riset yang ditekuninya antara lain permodelan elemen hingga, material dan struktur beton bertulang. Karya ilmiah beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal internasional bereputasi maupun prosiding nasional dan internasional. Penulis dapat dihubungi di [bobbyrio@live.undip.ac.id](mailto:bobbyrio@live.undip.ac.id).



**Banu Ardi Hidayat, S.T., M.T.** adalah dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang mengajar di bidang struktur. Beliau sedang menempuh studi doktoral di National Cheng Kung University, Taiwan. Bidang riset yang ditekuninya adalah permodelan elemen hingga dan struktur beton bertulang. Karya ilmiah beliau telah dipublikasikan di berbagai jurnal internasional bereputasi maupun prosiding nasional dan internasional. Penulis dapat dihubungi di [banuardi@live.undip.ac.id](mailto:banuardi@live.undip.ac.id).



**Rydell Riko, S.T.** adalah asisten peneliti di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Beliau sedang menempuh studi master di Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Bidang riset yang ditekuninya adalah struktur beton bertulang dan sistem struktur. Penulis dapat dihubungi di [rydellriko99@students.undip.ac.id](mailto:rydellriko99@students.undip.ac.id).





# TANTANGAN DAN HARAPAN PENGEMBANGAN TRANSPORTASI UMUM PERKOTAAN

**Kami H. Basuki<sup>1</sup> dan Mulyadi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Kepala Seksi Angkutan Dalam Trayek, Dinas Perhubungan Kota Semarang, Indonesia

## **1. Pendahuluan**

Kondisi transportasi umum perkotaan saat ini belum memberikan kenyamanan terhadap pelaku perjalanan sehingga berdampak pada semakin tingginya penggunaan kendaraan bermotor pribadi, baik mobil maupun sepeda motor. Peningkatan jumlah kendaraan pribadi yang saat ini berjumlah lebih dari 133 juta kendaraan bermotor di seluruh Indonesia (Kepolisian Republik Indonesia, 2021), terutama pada kota-kota besar di Indonesia, akan semakin mengurangi ruang kapasitas jalan. Pertambahan infrastruktur jalan untuk mengatasi permasalahan macet bukan menjadi satu-satunya pemecahan permasalahan. Peningkatan peran dan pelayanan angkutan umum menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam menekan penggunaan kendaraan pribadi.

Pembangunan di wilayah kota diarahkan pada penataan ruang daerah yang kukuh dengan upaya peningkatan produktivitas geografis wilayah dan efisiensi sumber daya daerah, melalui pengaturan pemanfaatan ruang bagi fungsi utama perkotaan yang meliputi diantaranya sistem transportasi. Kinerja sistem transportasi jalan dapat dilihat dari kinerja masing-masing sub sistemnya, meliputi ruang lalu Lintas, lalu Lintas dan simpul (Hobbs, 1974). Peran transportasi sebagai urat nadi perekonomian dan perkembangan sosial menuntut upaya-upaya menciptakan jasa transportasi yang handal dan berkemampuan tinggi. Hal ini akan berdampak positif pada pertumbuhan pembangunan wilayah. Dari sisi ekonomi, pengembangan transportasi akan berdampak pada pertumbuhan



usaha atau pasar dan pembukaan kesempatan kerja, yang ujungnya memicu pertumbuhan ekonomi wilayah.

Angkutan umum sebagai salah satu elemen dari sistem transportasi perkotaan memegang peran yang sangat penting bagi daerah perkotaan (Teodorović and Janić, 2022). Akan tetapi, lalu lintas angkutan umum sering menjadi penyebab kemacetan pada ruas jalan. Hal ini disebabkan karena lintasan pelayanan angkutan umum menggunakan lajur yang sama dengan lajur kendaraan lain, berhenti disembarang tempat sehingga arus kendaraan terhambat (Mutiawati, 2019).

*Bus Rapid Trans* atau Bus Raya Terpadu (BRT) yang sedang digalakkan pemerintah sebagai langkah mengurangi kemacetan yang ada, dalam arti ketersediaan (*supply*) belum sesuai dengan pola permintaan (*demand*) yang ada. Jumlah penumpang yang membutuhkan angkutan umum sangat bervariasi untuk waktu-waktu tertentu, hal ini menggambarkan tingkat kepuasan yang bias, disatu sisi pengguna membutuhkan angkutan umum, disisi lain pelayanan angkutan umum buruk (Purboyono, Riyanto and Basuki, 2012). Jumlah penumpang pada jam sibuk jauh lebih banyak daripada jam tidak sibuk. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan jumlah armada pada jam sibuk dan jam tidak sibuk berbeda sesuai dengan permintaan, juga dalam kenyataan bahwa jika ada angkutan umum kota dan Bus Rapid Trans menyebabkan sediaan (*supply*) menjadi terlalu besar dan tidak efisien. Kondisi diatas tentunya disebabkan beberapa permasalahan yang belum terselesaikan dan semakin kompleks, menyebutkan beberapa permasalahan angkutan umum perkotaan diantaranya: pada jaringan trayek utama masih dilayani oleh angkutan dengan kapasitas penumpang yang kecil, banyak trayek yang tumpang tindih, terlalu banyak operator yang melayani satu rute, kondisi fisik dan kinerja armada yang kurang baik, sistem setoran yang memengaruhi perilaku sopir untuk tidak tertib di jalan.

Pemenuhan mobilisasi kegiatan keseharian masyarakat kota sudah menjadi salah satu kewajiban pemerintah dengan memberikan fasilitas umum baik berupa prasarana maupun sarana transportasi. Untuk prasarana transportasi pemerintah Kota memberikan pelayanan dengan membangun infrastruktur jalan, halte, pedestrian,



jembatan penyeberangan, terminal dan berbagai infrastruktur lainnya. Hal ini menjadi tantangan bagi semua *stakeholder*, pemerintah sebagai regulator, penyelenggara pelayanan transportasi, termasuk pengguna transportasi, dibantu para peneliti dalam pengembangan transportasi umum di perkotaan agar harapan terciptanya transportasi yang efisien, efektif dan berkelanjutan dapat diwujudkan di masa mendatang.

## **2. Tantangan Pengembangan Transportasi Umum**

Sarana transportasi umum perkotaan di Indonesia terdiri dari berbagai macam moda seperti Angkutan Perkotaan (angkot), sebagian kota menyebutnya dengan mikrolet untuk angkutan umum berkapasitas kecil. Sementara itu untuk angkutan umum massal terdapat BRT di banyak kota, bahkan sudah terdapat LRT di Palembang dan Jakarta, sementara MRT dan *Commuter Line* (KRL) hanya terdapat di Jakarta. Saat ini, masih dalam kondisi pandemic Covid19 yang mengharuskan adanya pembatasan kegiatan dan mobilisasi orang. Hal ini mengurangi penggunaan angkutan umum. Namun disisi lain peningkatan pertumbuhan kepemilikan kendaraan juga cukup tinggi, sehingga penggunaan angkutan umum perkotaan juga semakin rendah.

### **2.1. Pertumbuhan Kepemilikan Kendaraan**

Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai lebih dari 133 juta unit pada tahun 2019 (Kepolisian Republik Indonesia, 2021). Data itu terangkum dalam catatan Badan Pusat Statistik (BPS). Jumlah kendaraan naik sekitar lima persen sejak dua tahun lalu. Pada tahun 2019, jumlah kendaraan naik bertambah 7.108.236 unit atau meningkat 5,3 persen menjadi 133.617.012 unit dari tahun sebelumnya sebanyak 126.508.776 unit. Jumlah kendaraan di tahun 2018 naik 5,9 persen dari tahun 2017 sejumlah 118.922.708 unit.

Mobil penumpang (*passanger car*) menyumbang 11,6 persen dari total kendaraan di Indonesia. Jumlah mobil penumpang mencapai 15.592.419 unit pada tahun 2019. Jumlah ini naik dari jumlah di tahun 2018 sebanyak 14.830.698 unit dan 2017 mencapai 13.968.202 unit. Sepeda motor merupakan kendaraan yang paling banyak di Indonesia.



Bahkan, jumlahnya terus bertambah tiap tahun. Sampai tahun 2019, jumlah sepeda motor yang ada di Indonesia mencapai 112.771.136 unit. Di tahun 2018, jumlah motor tercatat 106.657.952 unit, dan pada 2017 sebanyak 100.200.245 unit.

**Tabel 1. Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia**

Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mobil Penumpang	12.304.221	13.142.958	13.968.202	14.830.698	15.592.419	15.797.746
Mobil Bis	196.309	204.512	213.359	222.872	231.569	233.261
Mobil Barang	4.145.857	4.326.731	4.540.902	4.797.254	5.021.888	5.083.405
Sepeda motor	88.656.931	94.531.510	100.200.245	106.657.952	112.771.136	115.023.039
Jumlah	105.303.318	112.205.711	118.922.708	126.508.776	133.617.012	136.137.451

Sumber: *Kepolisian RI, 2021*

## 2.2. Tekanan akibat Pelayanan Angkutan Online

Pada jaman milenial ini berkembangnya teknologi dan informasi semakin pesat dengan adanya pengenalan aplikasi angkutan online untuk mobilitas masyarakat untuk melakukan aktifitas. Aplikasi transportasi online seperti seperti ojek online, mobil dan taksi online yang memberi pelayanan dari transportasi orang, barang dan makanan berdampak terhadap transportasi umum berbasis dalam trayek (Kadarini, no date; Laloma *et al.*, 2018; Mustaqima *et al.*, 2018). Disamping itu aturan mengenai transportasi online belum memberikan kejelasan terhadap keberadaan angkutan umum dalam trayek. Peraturan Penyelenggaraan Angkutan Orang dengan Kendaraan Bermotor Umum Tidak Dalam Trayek PM 108 Tahun 2017, yang mengatur penyelenggaraan angkutan online, juga belum mewadai semua kepentingan (Wahyuni and Rachmawati, 2017).

## 2.3. Situasi pandemic Covid19

Situasi dalam impementasi normal baru akibat adanya pandemic Covid19 tentu mempengaruhi kebiasaan penumpang, utamanya transportasi umum, menyebabkan dampak lain yang cukup kompleks dan terikat satu sama lain. Angkutan umum perkotaan terpukul dua kali, karena pertama pemasukan berkurang, tapi juga pengeluaran bertambah karena harus membeli peralatan seperti hand sanitizer, termometer dan dan lainnya (Kementerian Perhubungan, 2020; Monica, Sukanta and Winarno, 2021).



## **2.4. Tekanan Fiskal**

Sementara ruang fiskal pemerintah juga tertekan karena pemasukan dari pajak daerah juga berkurang. Hal ini menyebabkan terjadi pemotongan subsidi, yang berdampak jangka panjang (Supriyatno *et al.*, 2021). Hal ini juga mengakibatkan perilaku penumpang tidak memilih angkutan umum yang pelayanannya buruk, dia akan beralih ke kendaraan pribadi dan akan sangat sulit untuk membawa mereka kembali mempercayai kendaraan umum. Sehingga perlu juga dipikirkan upaya agar masyarakat tetap merasa aman dan nyaman dalam menggunakan moda transportasi umum dalam new normal nantinya .

## **3. Angkutan Umum Kota Semarang (Studi Kasus)**

Angkutan Umum di Kota Semarang sangat beragam, baik itu dalam skala intramoda maupun intermoda. Namun demikian, berkaitan dengan tinjauan bab ini, maka akan disampaikan sarana transportasi yang berkaitan dengan angkutan umum perkotaan di Kota Semarang antara lain angkutan kota (Angkot) dan BRT.

### **3.1. BRT Kota Semarang**

#### **3.1.1 Pelayanan Trans Semarang**

BRT Trans Semarang adalah layanan Angkutan Umum Massal Berbasis Jalan yang dihadirkan Pemerintah Kota Semarang sebagai solusi mengatasi permasalahan Transportasi yang ada di Kota Semarang. Sejak awal beroperasi pada Tahun 2009, BRT Trans Semarang terus melakukan pengembangan layanan hingga saat ini tahun 2022, telah tersedia 13 Koridor meliputi:

- 1) Koridor I (Mangkang -Penggaron) mulai beroperasi pada tanggal 1 Oktober 2010 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 11.749 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 2) Koridor II (Terboyo - Sisemut) mulai beroperasi pada tanggal 1 Oktober 2012 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 6.228 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 3) Koridor III (Pelabuhan Tanjung Mas – Akpol) mulai beroperasi tanggal 1 November 2014 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 2.019 orang per-hari ditahun 2020.



- 4) Koridor IV (Cangkiran - Tawang) mulai beroperasi pada tanggal 1 Desember 2013 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 4.152 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 5) Koridor V (Meteseh - PRPP) mulai beroperasi tanggal 31 Maret 2017 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 4.530 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 6) Koridor VI (UNDIP - UNNES) mulai beroperasi tanggal 31 Maret 2017 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 2.402 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 7) Koridor VII dengan Rute (Terboyo - Wolter Mangunsidi - Arteri Soekarno Hatta - Pemuda) mulai beroperasi tanggal 15 Mei 2018 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 2.244 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 8) Koridor Bandara malam dengan Rute (Bandara Ahmad Yani - Simpang Lima) mulai beroperasi tanggal 12 Juni 2018 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 122 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 9) Koridor VIII dengan Rute (Gunungpati - Kreo - Pemuda) mulai beroperasi tanggal 6 Desember 2019 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 2.458 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 10) Koridor Feeder 1 dengan Rute (Ngaliyan - PRPP) mulai beroperasi tanggal 6 Desember 2019 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 614 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 11) Koridor Feeder 2 dengan Rute (Pasar Bangetayu - Kaligawe) mulai beroperasi tanggal 6 Desember 2019 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 784 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 12) Koridor Feeder 4 dengan Rute (Terminal Gunungpati - BSB - Unnes) mulai beroperasi tanggal 19 Juni 2020 dengan rata-rata pengguna jasa mencapai 345 penumpang per-hari ditahun 2020.
- 13) Koridor Feeder 3 dengan Rute (Terminal Penggaron-Banyumanik) mulai beroperasi tanggal 1 Maret 2022.



Sampai dengan 2022 terdapat 4 koridor feeder BRT. Jumlah shelter sebagai tempat naik turun penumpang juga belum mencapai kondisi kebutuhan/potensi-nya. Sampai tahun 2020 terdapat 446 shelter BRT dari kebutuhan sebanyak 467 unit.

### **3.1.2 Tantangan Pengembangan BRT**

Tantangan yang dihadapi adalah Trans Semarang merupakan satu-satunya moda yang pengoperasiannya dilaksanakan oleh Pemerintah melalui BLU, dalam hal ini pemerintah dapat melakukan intervensi untuk layanannya, namun secara fiscal perlu adanya dukungan penyelenggaraan akibat daya beli masyarakat yang rendah disbanding dengan biaya operasional pelayanan BRT. Tantangan lain yang dihadapi adalah Trans Semarang hanya memiliki share sebesar 40% dari total perjalanan dengan angkutan umum, bagaimana meningkatkan jaringan pelayanan angkutan umum secara menyeluruh.

## **3.2. Angkutan Kota (Angkot)**

### **3.2.1 Angkutan Kota yang Beroperasi**

Kota Semarang sudah menjadi kota metropolitan yang mempunyai daya tarik. Keberadaan angkutan kota (angkot) sebagai transportasi darat banyak dijumpai di system jaringan pelayanan angkutan umum Kota Semarang. Angkot di Semarang dibedakan dari warna dan nomor yang tertera di mobil tersebut. Biasanya angkot berwarna kuning dan orange. Dari sekitar 2000 armada angkot yang beroperasi, saat ini tinggal 924 armada.

Trayek angkutan umum yang optimal hanya tercapai 86,04% dikarenakan beberapa trayek angkutan umum tidak aktif (tidak mampu melakukan peremajaan armada). Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Lembaga non pemerintah IGES dan ITDP bekerja sama dengan Undip pada tahun 2018, tingkat penggunaan angkot sekitar 17% (Transportu, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas pelayanan angkutan umum belum memadai keinginan pengguna transportasi.



### **3.2.2 Tantangan Peningkatan Pelayanan Angkutan Kota (Angkot)**

Kondisi diatas tentunya disebabkan beberapa permasalahan yang belum terselesaikan dan semakin kompleks, menyebutkan beberapa permasalahan angkutan umum perkotaan diantaranya: pada jaringan trayek utama banyak berimpit dengan angkutan dengan kapasitas penumpang yang kecil, banyak trayek yang tumpang tindih, terlalu banyak operator yang melayani satu rute, kondisi fisik dan kinerja armada yang kurang baik, sistem setoran yang memengaruhi perilaku sopir untuk tidak tertib di jalan.

Tantangan Penataan dan Pengembangan Jaringan Trayek angkutan Kota (Angkot) perlu dilakukan sejalan pengembangan pelayanan Angkutan jalan yang terintegrasi.

## **4. Potensi Penggunaan Angkutan Umum Kota Semarang**

Berdasarkan hasil survei lapangan dan fenomena-fenomena yang terjadi, berikut disampaikan beberapa potensi Kota Semarang yang berkaitan dengan Sistem Transportasi:

- 1) Kota Semarang dengan karakteristik daratan tergolong cukup datar hanya beberapa titik kawasan yang memiliki dataran berbukit dengan kondisi jalan menanjak dan menurun. Pada ketinggian ini, kondisi iklim di Kota Semarang cukup Panas karena berada digaris pantai utara Jawa. Saat ini sudah tersedia ruang terbuka hijau dengan vegetasi pohon-pohon yang memadai di berbagai sudut dengan beberapa taman Kota seperti Taman Willis, Taman Pandanaran, Taman Tirta Agung, Taman Indonesia Kaya dan masih banyak lagi. Kondisi ini sangat mendukung bagi mobilisasi orang yang menggunakan moda sepeda (Un-Motorized).
- 2) Luas wilayah Kota Semarang pada tahun 2018 tercatat sebesar 57,55 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk Kota Semarang sebesar 1,79 Juta jiwa. Sebagai Ibu Kota Provinsi Jawa Tengah luasan dan jumlah penduduk tersebut relative kecil sehingga memudahkan penerapan kebijakan termasuk upaya pengaturan, monitoring dan evaluasi.



- 3) Pusat Perdagangan dan Jasa Kota Semarang berada di Kawasan Utara yang relative rendah elavasinya dan Kawasan pemukiman berada dikawasan selatan dengan elevasi yang relative tinggi;
- 4) Secara umum, letak guna lahan yang memiliki bangkitan dan tarikan terbesar berada di pusat perkotaan, dan dikelilingi guna lahan permukiman yang semakin melebar kepadatannya semakin rendah.
- 5) Sebaran permukiman pada tahun 2020 sebagian besar berada di pusat perkotaan dan sekitarnya. Pengembangan permukiman di wilayah pinggiran cukup masif, sehingga memiliki tantangan cukup besar dalam mengatur pengembangan trayek angkutan umum yang terintegrasi dengan jaringan transportasi umum BRT;
- 6) Kondisi perkerasan jalan secara umum sangat baik dan mantap;
- 7) Terdapat Terminal Tipe A Mangkang, Terminal Penggaron, Terminal Banyumanik dan Terminal Angkutan Barang Terboyo yang dapat dimanfaatkan sebagai titik simpul untuk pergerakan dari internal ke eksternal maupun eksternal ke eksternal. Walaupun pengelolanya oleh Kemeterian Perhubungan melalui BPTD Jawa Tengah, namun manfaat keberadaan terminal tersebut sangat besar untuk wilayah Kota Semarang;
- 8) Terdapat stasiun Tawang dan Stasiun Poncol sebagai hub transportasi kereta api. Terdapat pula bandara Ahmad Yani sebagai Hub Terminal angkutan Udara.
- 9) Adanya beberapa Perguruan Tinggi seperti Undip Unnes, Unissula, UNIKA, Unimus, USM, IAIN Sunan Kalijaga, Untag, Polines dan masih banyak lagi, menjadi salah satu daya tarik untuk orang datang ke Semarang disamping objek-objek wisata;
- 10) Kekuatan Keuangan Kota Semarang diprediksi mampu memberikan pelayanan kepada masyarakat khususnya berkaitan dengan Layanan Transportasi Umum.



## 4.1 Langkah Pengembangan Angkutan Umum

### 4.1.1 Penataan Jaringan Trayek

Dalam melayani penumpang, koridor dan Trayek angkutan umum Kota Semarang saat ini sudah cukup efektif dibanding dengan tahun-tahun sebelumnya. Hampir semua kecamatan di Kota Semarang sudah dijangkau oleh rute BRT Trans Semarang, Feeder Trans Semarang maupun angkutan umum cabang dan ranting. Namun, masih banyak koridor dan trayek yang berhimpit menyebabkan efektifitas pada masing-masing angkutan umum menjadi kurang maksimal. Misalnya di sepanjang Jalan MT. Haryono, dimana pada jalan tersebut dilayani oleh angkutan kota dengan kode C3,C4,C10, Feeder 2B dan Koridor 3B BRT Trans Semarang. Trayek yang berhimpit tersebut mengakibatkan masing-masing angkutan umum bersaing untuk mendapatkan calon penumpang. Atas dasar tersebut, analisis skenario penataan koridor dan trayek angkutan umum ini dibuat.



◀ ▶ Link: 914-778

Line	Description	Mode	Vehicle	Eq.auto	Frequency
C10	Rejomulyo-Banyumanik	Bus	Angkot	1.00	4
C3	Rejomulyo-Penggaron	Bus	Angkot	1.00	4
C4	Rejomulyo-Tlogosari	Bus	Angkot	1.00	4
F2-B	B. Ayu via MT. Haryono	Bus	buskecil	1.20	6
Kor3-B	Pelabuhan-Elisabeth	Bus	busedang	1.80	6

Gambar 2. Trayek Berhimpit di Jalan MT. Haryono



Berdasarkan arah yang masuk ke Kota Semarang, dapat diketahui bahwa ada beberapa koridor yang berhimpitan dengan rute angkutan umum lainnya. Koridor yang berhimpit dapat dilihat pada:

1. Dari arah selatan : Koridor 2A dengan C10
2. Dari arah barat : Koridor 1A dengan C9A dan R.4A1
3. Dari arah timur : Koridor 2A dengan C1A, C1B, F2A, dan R.2D



◀ ▶ Link: 552-761

Line	Description	Mode	Vehicle	Eq.auto	Frequency
C9-A	Mangkang-Rejomulyo	Bus	Angkot	1.00	4
Kor1-A	mangkang-penggaron	Bus	busbesar	2.50	6
R4A1	Sulanji-GtSubroto	Bus	AngKotKCL	1.00	4

**Gambar 3. Trayek Berhimpit arah Barat**





◀ ▶ Link: 100-112

Line	Description	Mode	Vehicle	Eq.auto	Frequency
C1-A	Rejomulyo-Sriwulan	Bus	Angkot	1.00	4
C1-B	Rejomilyo-Genuk	Bus	Angkot	1.00	4
F2-A	B.Ayu-via K.Maksum	Bus	buskecil	1.20	6
Kor2-A	Terboyo-Ungaran	Bus	busedang	1.80	6
R2D	Pelabuhan-Terboyo	Bus	AngKotKCL	1.00	4

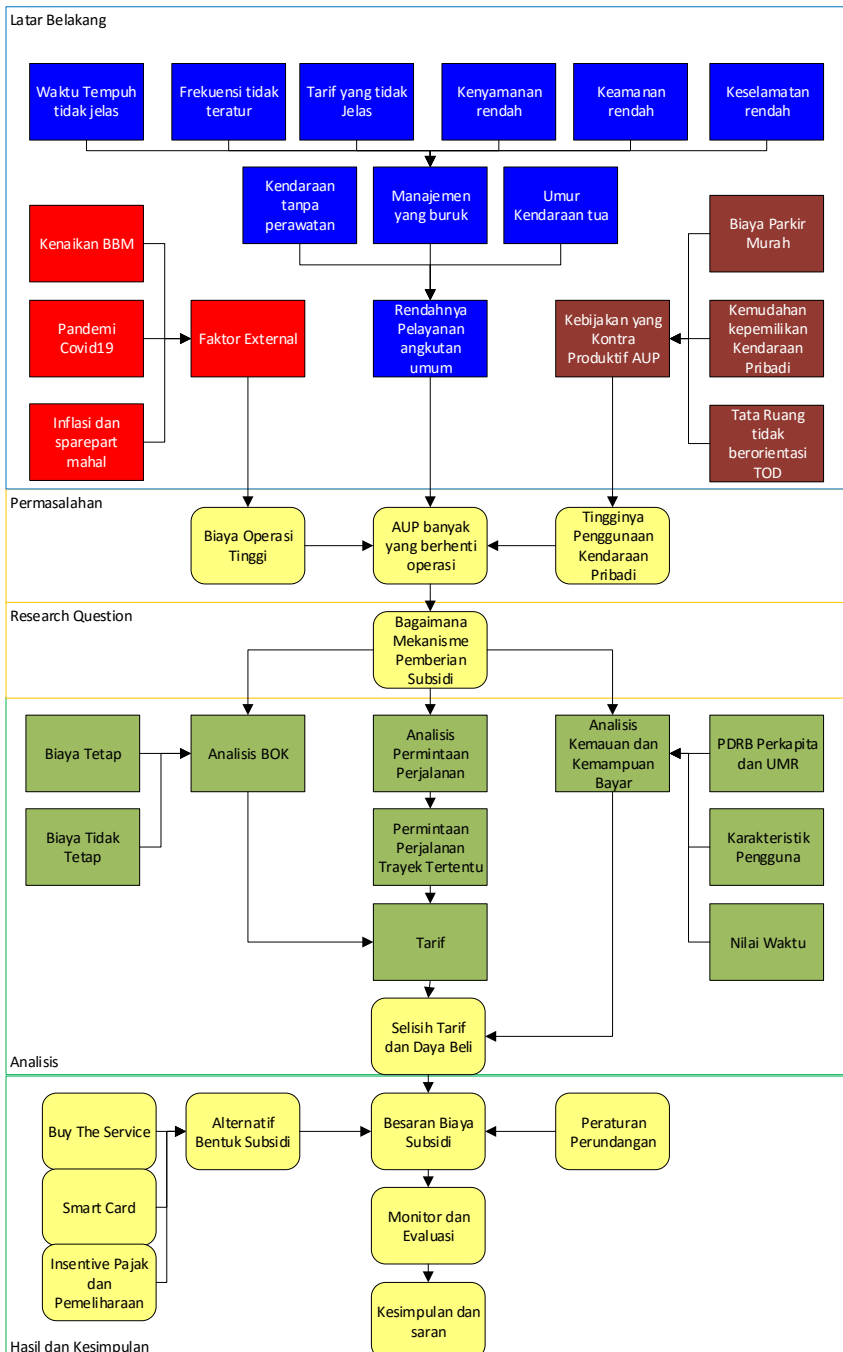
**Gambar 4. Trayek Berimpit Arah Timur**

### 4.1.2 Subsidi

Sistem pengelolaan perusahaan angkutan umum pada trayek angkot Kota Semarang menerapkan sistem setoran yang mendorong operator untuk lebih mengutamakan jumlah setoran sehingga mengabaikan variabel-variabel kualitas pelayanan angkutan umum meliputi: kenyamanan, keselamatan, keamanan, dan lain-lain.

Batasan di dalam bab ini tidak memperhitungkan tingkat isian penumpang secara rinci pada trayek sehingga mekanisme subsidi angkutan umum perlu juga dipertimbangkan adanya keterkaitan dengan kemampuan keuangan pemerintah melalui nilai APBD terhadap bentuk subsidi angkutan umum yang akan diterapkan nantinya.

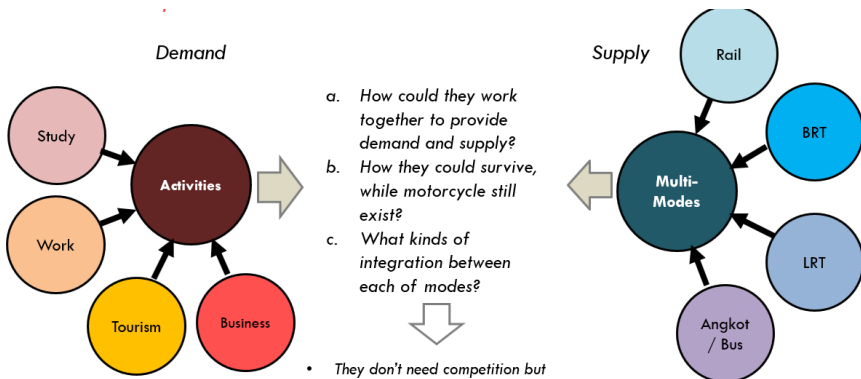




**Gambar 5. Kerangka Pemberian Subsidi Angkutan Umum**

### 4.1.3 Integrasi Moda

Integrasi Transportasi berarti bahwa apa pun moda atau jenis transportasi (kereta api, jalan, air, udara) yang terlibat, mereka semua beroperasi sebagai satu kesatuan yang 'mulus' - untuk kepentingan pelanggan yang membayar ongkos. Angkutan pribadi biasanya menyediakan transportasi 'pintu ke pintu' (walaupun dengan berjalan kaki antara tempat parkir dan tujuan akhir) dan sementara ini tidak selalu merupakan kemungkinan realistis untuk angkutan umum, konsep 'integrasi transportasi' adalah untuk menyediakan perjalanan 'mulus' itu adalah 'pintu ke pintu' mungkin. Hal ini dicapai dengan merencanakan layanan sehingga di mana diperlukan penggantian kendaraan, penumpang dapat menikmati kemudahan penggunaan, fasilitas pertukaran yang menyenangkan & terlindungi plus menunggu sebentar untuk layanan berikutnya. Lebih jauh, sama seperti ketika seorang pengendara membeli bahan bakar, mereka melakukannya sekali untuk seluruh perjalanan sehingga dengan transportasi penumpang, penumpang harus dapat memperoleh manfaat dari melalui tiket 'satu pembelian' untuk seluruh perjalanan.



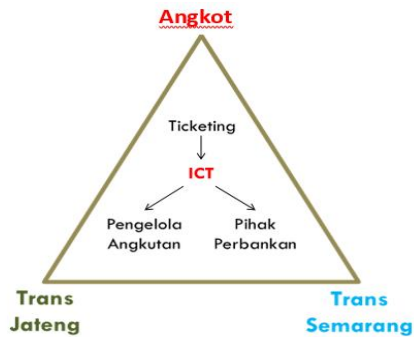
Gambar 6. Integrasi Moda

### 4.1.4 Sistem Ticket

Pengguna Jasa Bus Rapid Transit Semarang (Trans Semarang) kini semakin dimudahkan pelayanannya dengan pembayaran secara elektronik. Namun demikian, untu angkot masih menggunakan pembayaran secara tradisional yaitu cash. Pembayaran



secarelektronik ini pun belum terinegrasi dengan Trans jaten sebagai bagian angkutan umum massal regional.



**Gambar 7. Sistem Ticketing**

Dengan bekerjasama dengan beberapa operator terkait pembayaran tiket BRT dalam bentuk layanan e-Ticket. Terdapat ada 3 macam kartu elektronik yang bisa digunakan oleh pengguna BRT (Nelloh *et al.*, 2019). Pembayaran elektronik memberi dampak yang baik dalam akuntabilitas public oleh pemerintah daerah yang melakukan transaksi non tunai melalui uang elektronik sebagai Inovasi dan sarana meminimalisasi hal-hal yang sifatnya pungutan liar dan pencatatan yang tidak sesuai dengan transaksi.

## **5. Harapan Rekomendasi Angkutan Umum Perkotaan Masa Mendatang**

Moda transportasi yang dibangun tidak saling berkompetisi, tetapi saling menunjang. Pengguna moda transportasi diberikan pilihan dalam penggunaan moda-moda tersebut. Tarif yang diterapkan sangat murah dan jauh lebih murah jika dibandingkan menggunakan moda transportasi pribadi. Jalur atau rute yang ditetapkan menjangkau seluruh lokasi tujuan perjalanan pengguna. Stasiun, terminal, halte tersebar di berbagai lokasi pusat kegiatan, demikian pula moda transportasi angkot. Pengguna setelah keluar dari terminal atau turun dari bus menuju lokasi kegiatan dapat berjalan kaki beberapa meter. Daya dukung lingkungan sebagai livable cities di perkotaan memberikan peran penting bahwa pejalan

kaki dapat mudah, aman, dan terfasilitasi ketika melakukan kegiatan berjalan menuju tempat tinggal atau lokasi fasilitas kegiatannya. Bahkan pada beberapa titik lokasi telah tersedia berbagai *vending machine* yang menyediakan berbagai kebutuhan minuman berupa jus, air mineral, minuman ringan yang memberikan fasilitas kepada para pejalan kaki. Kemudahan ini menjadi bagian penting, nyamannya pengguna transportasi massal di perkotaan.

## Referensi

- Hobbs, F. D. (1974) *Traffic Planning and Engineering*. Pergamon Press (Civil engineering division). Available at: <https://books.google.co.id/books?id=dZrHDAEACAAJ>.
- Kadarini, S. N. (no date) 'STUDI ANGKUTAN NON TRAYEK BERBASIS APLIKASI ( OJEK ONLINE ) DI KOTA PONTIANAK', pp. 1–5.
- Kementerian Perhubungan (2020) 'Pengendalian Transportasi Dalam Rangka Pencegahan Penyebaran Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)', Nomor 9(Pedoman Pembatasan Sosial Berskala Besar dalam Rangka Percepatan Penanganan Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)), pp. 1–71. Available at: <http://jurnalrespirologi.org/index.php/jri/article/view/101>.
- Kepolisian Republik Indonesia (2021) *Jumlah Kendaraan Bermotor*. Available at: <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/2/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>.
- Laloma, A. *et al.* (2018) 'PENGARUH ANGKUTAN ONLINE TERHADAP PEMILIHAN MODA TRANSPORTASI PUBLIK DI KOTA MANADO ( STUDI KASUS : TRAYEK MALALAYANG - PUSAT KOTA )', 6(8), pp. 541–552.
- Monica, A. M., Sukanta, S. and Winarno, W. (2021) 'Analisis Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Keputusan Penggunaan Jasa KRL Commuter Line Bekasi Selama Pandemi COVID-19', *JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, 11(1), pp. 17–22.
- Mustaqima, Z. Z. *et al.* (2018) 'KARAKTERISTIK MODA ANGKUTAN UMUM BERBASIS ONLINE DI JAKARTA SELATAN', 10(0341).



- Mutiawati, C. (2019) *Kinerja Pelayanan Angkutan Umum Jalan Raya*. Deepublish.
- Nelloh, L. A. M. *et al.* (2019) 'Travel experience on travel satisfaction and loyalty of BRT public transportation', *The Asian Journal of Technology Management*, 12(1), pp. 15–30.
- Purboyono, T., Riyanto, B. and Basuki, K. H. (2012) 'ANALISA KEPUASAN PENGGUNA TERHADAP PELAYANAN BUS RAPID TRANSIT (BRT) DI KOTA SEMARANG'. magister teknik sipil.
- Supriyatno, D. *et al.* (2021) 'PENERAPAN ADAPTASI KEBIASAAN BARU KEPADA PELAKU ANGKUTAN UMUM TRAYEK SIDOARJO – SURABAYA PASCA TERDAMPAK COVID-19', 7(April), pp. 1–6.
- Teodorović, D. and Janić, M. (2022) 'Public Transportation Systems', *Transportation Engineering*, pp. 405–522. doi: 10.1016/b978-0-323-90813-9.00007-2.
- Transportu, P. (2021) 'A PERFORMANCE STUDY OF BUS RAPID TRANSIT LITE : TOWARD A', 16(3). doi: 10.21307/tp-2021-045.
- Wahyuni, A. T. and Rachmawati, R. (2017) *Moda Transportasi Angkutan Kota Berbasis Teknologi Informasi Komunikasi City Transport Modes Based on Communication Information Technology*.



## PROFIL PENULIS



**Kami Hari Basuki, ST., MT.**, adalah staf pengajar di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro pada Kelompok Keahlian Transportasi. Beliau menyelesaikan pendidikan master di Magister Transportasi ITB dan saat ini sedang menempuh pendidikan S3 di Program Studi Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang. Bidang riset yang ditekuninya adalah *Transport Planning and Modelling*, dengan hibah penelitian dengan skema PKM dan penelitian strategis yang dipublikasikan di jurnal dan *proceeding* dengan skala nasional maupun Internasional. Basuki juga menjalin kerjasama dengan *stakeholder* terkait, seperti Dinas Perhubungan Kota dan Provinsi, Dinas Bina Marga serta lembaga NGO internasional seperti IGES dan ITDP dalam pengembangan angkutan umum perkotaan. Penulis dapat dihubungi melalui [kamiharibasuki@lecturer.undip.ac.id](mailto:kamiharibasuki@lecturer.undip.ac.id)



**Mulyadi, SH.**, ada staf di lingkungan Dinas Perhubungan Kota Semarang sebagai Kepala Seksi Angkutan Orang Dalam Trayek. Beliau menyelesaikan pendidikan Sarjana Hukum, dan tertarik pada bidang hukum transportasi. Peran beliau dalam pengembangan Transportasi di Kota Semarang diejawantahkan dalam komitmen transportasi berkelanjutan oleh Wali Kota Semarang melalui *Letter of Intent (LoI)* yang berfokus pada Energi Terbarukan untuk pelayanan angkutan umum pada Januari 2019, bersamaan dengan peluncuran Program Trans Semarang CNG – Diesel Hybrid. Mulyadi juga melakukan kerjasama dengan institusi yang mempunyai kompetensi dalam pengembangan angkutan umum, melalui studi dan penelitian dalam meningkatkan pelayanan dan penentuan kebijakan dalam membuat keputusan strategis, seperti evaluasi tarif atas kenaikan BBM, optimasi jalur BRT dan mekanisme subsidi. Penulis dapat dihubungi di [adimulya7474@gmail.com](mailto:adimulya7474@gmail.com)





# PERAN STRATEGIS BASECAMP PROYEK JALAN LUAR KOTA DALAM ASPEK PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Ferry Hermawan<sup>1,3</sup>, Eko Yuniyanto<sup>2</sup>, dan Nuroji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratorium Manajemen Konstruksi, Departemen Teknik Sipil, Universitas  
Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> PT Jaya Konstruksi MP, Tbk, Indonesia

<sup>3</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## 1. Pendahuluan

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat telah melaksanakan pemerataan pembangunan di Indonesia, dengan menitik beratkan pada pembangunan infrastruktur di daerah luar kota (*remote area*). Pembangunan yang paling krusial yang dibutuhkan masyarakat adalah sarana perhubungan antar daerah berupa jalan raya. Jenis konstruksi jalan *flexible pavement* lebih banyak diterapkan di daerah luar kota karena mempunyai nilai konstruksi yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan *rigid pavement* sehingga panjang penanganan konstruksi mempunyai cakupan wilayah yang lebih jauh (Waluyo *et al.*, 2018). Dalam pedoman MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia, Bina Marga, 1997) yang diterbitkan oleh Kementerian PU, ruas jalan luar kota didefinisikan sebagai ruas jalan yang tidak ada perkembangan yang menerus pada setiap sisi jalan, walaupun mungkin terdapat beberapa perkembangan permanen seperti rumah makan, pabrik atau perkampungan (catatan : kios kecil dan kedai di sisi jalan bukan merupakan perkembangan permanen).

Kondisi terburuk yang harus dihadapi oleh kontraktor pelaksana *flexible pavement* adalah tidak terdapatnya *supplier* yang menyediakan agregat material yang dapat memenuhi spesifikasi teknis sesuai standar dalam volume yang besar. Apabila proyek jalan



berada pada daerah yang tidak ada batu *quarry*, maka untuk memenuhi kebutuhan agregat proyek harus membeli dari daerah lain yang berdekatan. Pada pemilihan *basecamp* dengan tanpa *quarry* dan *stone crusher*, proyek akan tetap menghadapi masalah biaya angkut akibat jarak *basecamp* ke lokasi pekerjaan. Masalah lain yang muncul adalah penurunan suhu *hotmix* pada saat material di bawa ke lapangan, apabila jarak tempuh *basecamp* ke lapangan yang jauh memerlukan waktu yang lama.

Usaha yang dilakukan oleh kontraktor pelaksana untuk mencapai *budget* sesuai dengan anggaran yang diajukan dalam penawaran adalah dengan membeli dan mengolah *quarry* (sumber material) dan membangun *plant* berupa *stone crusher* serta AMP secara mandiri (Nadiasa, 2014). Langkah pertama yang krusial sebelum memulai proses instalasi *plant* adalah menentukan lokasi dimana *plant* tersebut harus ditempatkan, sehingga dapat tercapai efisiensi kerja serta menghindari kemungkinan bahaya yang dapat menyebabkan kerugian pekerjaan. Proses penentuan lokasi *plant* ini tidak mudah, karena tidak hanya memerlukan hitungan yang cermat berdasarkan fakta dan data historis saja, tetapi juga dari pertimbangan-pertimbangan teknis yang dimiliki oleh personel yang kompeten serta *expert* di bidangnya dan tentunya kemampuan ini hanya dimiliki oleh kontraktor yang berpengalaman dalam pembangunan jalan di luar kota.

Karakteristik permasalahan yang dihadapi proyek jalan luar kota adalah lokasi pekerjaan yang memiliki rentang area yang jauh, serta jarak posisi penempatan lokasi *basecamp* dan *quarry* akan sangat berpengaruh terhadap *supply* dan *demand* material selama proyek berjalan. Dari proses pembangunan *basecamp* di awal berupa instalasi *plant*, selanjutnya akan dilaksanakan distribusi pengangkutan raw material dari sumber *quarry* menuju ke *Stone crusher* yang berada di *basecamp*. Proses pengangkutan material harus didukung dengan jumlah unit armada yang cukup berupa Dump truck yang masih layak jalan dan kapasitas alat yang memadainya. Langkah selanjutnya adalah menentukan Job mix (campuran material) yang diterbitkan ijinnya (dari campuran kontrak desain).



Tahap awal konstruksi jalan luar kota yang paling penting adalah keputusan menentukan lokasi *basecamp* dan *quarry*. Dengan mengetahui lokasi maka didapatkan jarak lokasi *basecamp* dan *quarry*, sehingga biaya produksi dapat dihitung. Biaya produksi material menjadi penting, karena termasuk dalam mata pembayaran utama karena mempengaruhi 80% dari total biaya proyek (Permen PU no 14 tahun 2013). Apabila jarak antara *quarry*, *basecamp* dan lokasi proyeknya jauh, maka biaya juga akan semakin besar (Aswan *et al.* 2005).

Dalam pertimbangan menentukan lokasi terdapat juga masalah yang muncul salah satunya adalah luasan lahan untuk kebutuhan penempatan stock material dan mobilitas alat di *basecamp*. Peralatan utama yang membutuhkan area yang luas diantaranya adalah alat pemecah batu (*stone crusher*) dan juga AMP (*Asphalt mixing plant*). Area *basecamp* yang lain meliputi daerah untuk stock *raw material* (material yang belum diolah yang berasal dari *quarry*), bangunan gudang, bangunan *workshop*/bengkel, bangunan direksi keet, mess karyawan dan mess pekerja (Munsil *et al.* 2018). Selain masalah kebutuhan luasnya *basecamp*, masalah lain yang berkaitan dalam menentukan *basecamp* adalah faktor lingkungan. Kegiatan produksi material dan distribusi keluar masuk melewati jalan akses *basecamp* berpotensi mengganggu masyarakat akibat kebisingan dari *stone crusher* dan debu yang beterbangan akibat proses pemecahan batu. Potensi bahaya lain yang muncul adalah gangguan akibat lalu lintas angkut material berupa *dump truck* engkel (kapasitas 8 ton) dan *dump truck* tronton (kapasitas 25 ton) yang melewati jalan akses melewati rumah warga.

Perencanaan sebuah proyek Jalan Luar kota diperlukan perhitungan cermat dan teliti baik dari segi anggaran biaya, mutu, waktu mengingat risiko yang dihadapi dengan ketidak pastian banyak faktor di lapangan. Agar dapat mengurangi kesalahan dalam perencanaan diperlukan pengalaman dalam mengerjakan proyek sebelumnya. Pengalaman mampu membuat kontraktor mempunyai daya saing yang lebih kompetitif. Pada tahap pelaksanaan, kontraktor juga akan mampu melakukan pengendalian budget dan memiliki



kapasitas kerja yang lebih efektif dalam mengendalikan sumber daya alat dan manusia (Messah *et al.* 2013).

Pada beberapa kasus tertentu pada daerah yang tidak terdapat sumber batu, maka *quarry* bukan menjadi fokus utama dari pemilihan *basecamp*. Pada *basecamp* juga tidak terdapat alat *stone crusher*, sehingga luasan lahan yang dibutuhkan dapat berkurang. Meskipun luasan berkurang, pemilihan *basecamp* pada type ini masih harus menghadapi masalah yang lain seperti jarak *basecamp* ke lokasi pekerjaan, jarak ke rumah penduduk, ijin adat.

Kontraktor dalam menyelesaikan proyek di lapangan telah mendapatkan data-data historis berupa realisasi pelaksanaan proyek. Cara terbaik untuk membantu dalam penentuan lokasi *basecamp* adalah dengan membuat alat bantu untuk memudahkan perhitungan menggunakan data historis yang ada. Adanya heterogenitas karakteristik lokasi menyebabkan adanya tingkat kesulitan untuk mengeneralisir permasalahan sehingga diperlukan alat bantu untuk memudahkan pengambilan keputusan penentuan lokasi *basecamp* sebagai mana dilakukan dalam penelitian ini.

Proyek jalan yang ada di luar kota mengalami masalah kelangkaan material agregat. Hal ini menyebabkan kontraktor harus menyediakan material secara mandiri, sehingga di dalam *basecamp* perlu di instal alat pemecah batu (*Stone crusher*) dan AMP. Konsekuensi pembangunan alat tersebut memerlukan luas *basecamp* yang cukup. Masalah lain yang mungkin timbul adalah gangguan sosial akibat pengoperasian alat dan lalu lintas kendaraan yang mengangkut material. Terkecuali pada daerah yang tidak terdapat adanya *quarry* batu, kelangkaan material bukan menjadi kendala, karena tidak memerlukan alat *stone crusher*. Akan tetapi permasalahan lain tetap menjadi kendala dalam pemilihan *basecamp*.

Konstruksi pekerjaan jalan luar kota memerlukan agregat dengan volume besar, kualitas yang terjamin dan kapasitas angkut alat transportasi yang cukup. Agar dapat memenuhi kebutuhan agregat maka diperlukan pembangunan alat pemecah batu (*Stone crusher*) dan AMP yang dibangun di *basecamp*. Kebututuhan lahan yang cukup untuk menampung operasional alat, belum tentu dapat dipenuhi oleh



beberapa pilihan lokasi *basecamp* yang disurvei. Dalam hal ini masalah yang dihadapi dalam menentukan lokasi *basecamp* adalah resiko faktor ketidakpastian yang tinggi dan kurang tepatnya pemilihan lokasi dapat berdampak pada naiknya biaya operasional proyek. Beberapa kesalahan dalam menempatkan lokasi *basecamp* berakibat meningkatnya harga pokok produksi material konstruksi jalan, kapasitas produksi yang rendah, tingginya harga sewa *basecamp*, pembatasan jam kerja karena permintaan warga dan penutupan jalan akses *basecamp*. Pengalaman dalam memutuskan lokasi *basecamp* menjadi krusial karena secara teknis operasional dan manajerial menjadi kunci efisiensi pekerjaan.

## 2. Pengaruh Lokasi Terhadap Kinerja Proyek

Manajemen proyek konstruksi di desa dapat menjadi tantangan karena sumber daya yang sangat terbatas, faktor risiko yang unik, lokasi terpencil, dan kurangnya ahli manajemen konstruksi (Hansen *et al.* (2019). Dalam pelaksanaannya akan muncul berbagai macam masalah yang dipengaruhi oleh faktor-faktor pengaruh. Karakteristik pedesaan yang berbeda-beda menyebabkan adanya kemungkinan faktor pengaruh terhadap pelaksanaan konstruksi dapat berbeda. Hal yang serupa juga disampaikan oleh Ramli *et al.* (2018) berpendapat bahwa akses terbatas ke lokasi proyek merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penundaan dalam proyek pembangunan desa. Banyak yang perlu dipertimbangkan tentang akses ke situs di mana proyek biasanya di daerah pedesaan jauh dari kantor pusat sehingga perlu mengelola waktu perjalanan.

Kinerja proyek konstruksi yang baik adalah apabila dapat menyelesaikan pekerjaan dengan batas waktu yang sesuai dengan permintaan pemilik proyek. Kapasitas pekerjaan dihitung dari hasil kerja yang didapat dalam harian ataupun bulanan. Jarak angkut material yang jauh dan kondisi jalan yang tidak baik menyebabkan akses ke lokasi proyek menjadi sulit (Agsarini, 2015). Kelancaran distribusi barang dalam proses pekerjaan, sangat menentukan kinerja Proyek tersebut. Mobilisasi dari lokasi *basecamp* ke lapangan dan ke *quarry* menjadi faktor penentu kapasitas pekerjaan. Mobilisasi yang dimaksud dalam hal ini adalah pergerakan kelokasi proyek, antar



lokasi dalam proyek, dan dari dalam lokasi proyek ke luar lokasi proyek. Hal ini sangat dipengaruhi oleh penyediaan jalan proyek dan waktu pengiriman alat ataupun material (Messah *et al.* 2013). Selain pertimbangan alat, menurut Nadiasa *et al.* (2014), pertimbangan biaya juga sangat penting diperhitungkan dalam pengangkutan material karena realisasi di lapangan akan berbeda dengan yang direncanakan. Biaya dipengaruhi oleh keadaan jalur menuju lokasi, karakteristik material, dan jarak yang harus ditempuh. Sehingga di beberapa lokasi proyek sangat riskan terjadinya kerugian akibat pengangkutan material ini.

Kenyataannya di lapangan, peningkatan produktivitas dan efisiensi secara tepat masih cukup sulit untuk dilakukan. Salah satu kendalanya ialah pihak manajemen sulit menemukan sumber-sumber masalah dan hambatan dengan cepat, karna terbatasnya kemampuan sumber daya manusia serta belum tersedianya alat bantu yang mampu memberi solusi optimal. Faktor yang sebenarnya memiliki potensi untuk dioptimalkan dan sangat memungkinkan untuk dilakukan ialah perubahan tata letak fasilitas, karena hal tersebut sangat berpengaruh langsung pada kinerja pekerja untuk meningkatkan produktivitas dan efisien dalam aktivitas konstruksi. Hal lain yang menyangkut tata letak yang tidak efisien juga akan menyebabkan bertambahnya penanganan material dan biaya penempatan ulang dari barang lainnya serta kerugian secara waktu karena jarak perjalanan yang panjang (Siahaan *et al.* 2018).

Penelitian mengenai teori lokasi diaplikasikan pada banyak bidang. Kajian ini membahas mengenai penentuan lokasi untuk *basecamp* proyek jalan di luar kota. Pembahasan meliputi kriteria faktor dominan penentu lokasi beserta sub-kategorinya, metode yang digunakan dan membuat optimasi perhitungan.

### **3. Beberapa Metode Pemilihan Lokasi Basecamp**

Aswan *et al.* (2005) meneliti tentang analisa pemilihan lokasi *Asphalt mixing plant* (AMP) pada pekerjaan di Ruas Jalan Pelaihari-Sebamban. Menggunakan metode pengambilan keputusan secara kuantitatif dengan model transportasi. Diperoleh kesimpulan bahwa faktor -faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi



*basecamp*/AMP adalah Lokasi pekerjaan, Lokasi sumber material (*quarry*) dan Lokasi peralatan utama (AMP dan *Stone crusher* di *basecamp*).

Nugraha *et al.* (2014) melakukan penelitian bahwa perkerasan yang banyak digunakan saat ini adalah tipe *hotmix*. Konstruksi ini memiliki kelebihan yaitu memiliki kestabilan yang tinggi dan durabilitas yang baik, serta mampu menahan beban lalu lintas yang berat. Pencampuran material *hotmix* diproses di alat *Asphalt mixing plant* (AMP). Pada proses distribusi dan produksi AMP, hal-hal yang mempengaruhi biaya adalah jarak antara sumber material dan *basecamp*, juga jarak antara *basecamp* (AMP) dan lokasi penghamparan campuran *hotmix* (pekerjaan lapangan). Semakin jauh jarak AMP dan lapangan maka biaya bahan bertambah besar juga kualitas *hotmix* akan menurun.

Messah *et al.* (2016) meneliti biaya transportasi dan kualitas campuran yang dikirim ke lokasi pekerjaan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu pada proses produksi dan distribusi *hotmix*, jarak antara sumber material dan *basecamp* dan jarak antara lokasi permintaan *hotmix* dan AMP/*basecamp*. Maka dapat disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap pemilihan lokasi *basecamp* konstruksi jalan *hotmix* adalah jarak yang dekat dengan sumber *quarry* batu, jarak yang dekat dengan lokasi pekerjaan *hotmix*, biaya produksi, dan kapasitas produksi AMP.

#### **4. Pemilihan lokasi pada usaha dagang**

Pada perusahaan yang berbasis penjualan produk dalam hal ini konsumennya adalah masyarakat, maka akan lebih baik apabila sebuah lokasi usaha ditempatkan di lokasi yang strategis. Strategi pemilihan lokasi yang tepat akan meningkatkan jumlah pelanggan/customer dan harga jual dari produk. Dengan adanya kenaikan jumlah customer maka akan meningkatkan keuntungan usaha.

Pada sektor usaha berskala mikro/kecil di daerah kompleks *Shopping Center* Jepara, Fu'ad (2015) meneliti tentang pengaruh pemilihan lokasi terhadap kesuksesan penjualan dagangnya. Dengan menggunakan metode analisis regresi berganda diperoleh hasil



bahwa adanya hubungan kedekatan dengan infrastruktur (jarak), kondisi lingkungan bisnis dan biaya lokasi berpengaruh positif terhadap kenaikan sales penjualan. Hasil perbandingan variabel afktor yang mempengaruhi penjalan adalah variabel biaya lokasi (sebesar 46%), variabel kondisi lingkungan (sebesar 25%) dan variabel kedekatan dengan infrastruktur 24%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor yang paling dominan dan menentukan dalam kesuksesan usaha berskala mikro/kecil adalah biaya sewa lokasi.

PT Sung Chang Indonesia cabang kota Banjar, mencari lokasi pabrik yang tepat untuk dibangun. Maulana (2018) meneliti mengenai analisis faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik tersebut. Penelitian dilaksanakan dengan metode kualitatif deskriptif. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor yang menentukan dalam memilih lokasi usaha adalah ketersediaan tenaga kerja, ketersediaan tenaga listrik, fasilitas pengangkutan, pelayanan kesehatan, keamanan, pencegahan kebakaran, Peraturan pemerintah setempat, sikap masyarakat, biaya tanah dan bangunan, dan kemungkinan perluasan. Faktor lain yang justru tidak dominan adalah letak pasar, letak bahan baku, fasilitas (perumahan, pendidikan, pembelanjaan, telekomunikasi), luas tempat parkir, saluran pembuangan dan lebar jalan.

Kawasan industri tekstil terpadu di kabupaten Majalengka dalam tahap mencari lokasi yang tepat untuk dibangun. Dalam penelitian Rianto *et al.* (2018) dengan metode pendekatan eksploratif dan rasionalisme dan dianalisis menggunakan AHP dengan *software expert choice 11*. Berdasarkan hasil analisis program delphi, untuk menentukan lokasi kawasan industri tekstil, perlu memperhatikan faktor tapak/lahan, risiko bencana, utilitas, aksesibilitas, dan prinsip pengembangan kawasan. Urutan terbesarnya dalam faktor tersebut adalah tapak/lahan 21.2%, pengembangan kawasan 21.2%, risiko bencana 21 %, utilitas 16,4% dan aksesibilitas 12.9%.

Pada industri rumah tangga di wilayah kota Banda Aceh, lokasi usaha industri bergantung faktor kepemilikan lahan pribadi, infrastruktur yang memadai, lokasi, bahan baku dan fasilitas yang



memadai (Octiananda *et al.* (2016). Metode yang digunakan adalah *metode purposive sampling*.

Pada kondisi darurat bencana, kebutuhan bangunan *basecamp* sementara untuk penanganan bencana sangat dibutuhkan. Lokasi pembangunan *basecamp* akan berdekatan dengan bandara base logistik, dimana di dalamnya pasti ada staging area. Dengan menggunakan *bubble diagram*, dan luasan kebutuhan tiap fungsi area didapatkan berapa kebutuhan bangunan *basecamp* dan lokasi yang memungkinkan untuk memenuhi syarat. (Choi *et al.* 2017). Pemilihan lokasi usaha faktor pertimbangan dominan menentukan lokasi yaitu dekat dengan konsumen, biaya sewa lahan, kondisi lingkungan, akses yang mudah, pajak yang rendah dan biaya pegawai yang rendah. Penelitian yang dikerjakan adalah penelitian lokasi *basecamp*. Permasalahan yang ada dalam proyek jalan luar kota karakteristiknya sangat heterogen dan dinamis sehingga tidak bisa hanya diselesaikan dengan metode deskriptif.

## 5. Pemilihan lokasi pada Industri manufaktur Internasional

Pemilihan lokasi usaha dengan lokasi yang berbeda negara, menjadikan faktor yang berpengaruh juga menjadi semakin kompleks. Penelitian mengenai pertimbangan yang perlu dilakukan terhadap faktor-faktor yang berpengaruh dalam permintaan investor untuk membangun pabrik industri di suatu negara adalah biaya (sewa lahan, proses produksi, bahan baku/raw material dan tenaga kerja), karakteristik pasar (ukuran dan prospek pertumbuhan ekonomi), infrastruktur (faktor utama yang berpengaruh terhadap keputusan investor) (Chatzoglou *et al.* 2018). Penelitian ini mengadakan pengamatan lapangan mengenai faktor yang berpengaruh terhadap investasi pembangunan lokasi usaha. Penelitian ini mengevaluasi kriteria yang mempengaruhi keputusan investor berkaitan dengan lokasi *Plant/industri*. Metode penelitian yang dipakai adalah teknik model persamaan struktur dengan menganalisa data empiris.

faktor yang menentukan pemilihan lokasi pabrik adalah faktor biaya dan infrastruktur yang ada di daerah lokasi pilihan. biaya yang paling minimum adalah mendekatkan jarak antara customer dan *supplier*. Penggabungan lokasi pabrik yang lebih besar juga dapat



mengurangi biaya apabila dibandingkan dengan dua *plant* yang lebih kecil. Tren yang terbaru saat ini untuk mengurangi biaya dilakukan dengan memindahkan lokasi pabrik di negara dengan upah minimum pekerja yang rendah dan biaya logistik (bahan baku) yang lebih murah (Christensen *et al.* 2005).

Perusahaan manufaktur alat dominan membutuhkan banyak pekerja terampil dalam menjalankan kegiatannya. Dalam pemilihan lokasi Xu W *et al.* (2018) meneliti tentang keputusan pemilihan lokasi: pembuatan manufaktur peralatan dengan mode dua jalur pembelian dan penjualan. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa Perusahaan manufaktur alat dengan dua jalur penjualan, adalah bentuk utama dari transformasi industri dan revolusi industri dan juga tren dari *Plant* industri manufaktur. Berkaitan dengan pemilihan lokasi tradisional *Plant*, lebih fokus pada derajat intelegensi sekitar lokasi yg dipilih dan status pembangunan dari industri sekitar. Biaya konstruksi dan operasional adalah faktor utama penentuan lokasi *Plant*.

Dixit *et al.* (2019) meneliti tentang strategi bisnis penentuan lokasi: pentingnya faktor ekonomi dan image/gambaran tempat. Kesimpulan yang diambil memilih lokasi *plant* adalah

1. Memilih lokasi dengan fasilitas yang tepat, meningkatkan keuntungan kompetitif dari perusahaan.
2. Lokasi fasilitas yang sesuai tidak hanya bergantung dari keuntungan stakeholder tetapi juga dari karyawan.

Untuk dapat memenuhi lokasi bisnis yang tepat, harus memenuhi syarat faktor ekonomi yaitu, pajak dan tarif harga, tenaga kerja, transportasi, dan faktor lain yang berkaitan dengan industri bisnis.

Dube *et al.* (2016) meneliti tentang teori lokasi dan lokasi bisnis : sebuah investigasi mikro-spasial dari sebuah daerah non-metropolitan di Kanada. Hasil penelitiannya adalah lokasi terbaik apabila jarak terdekat dengan tengah, penggabungan lokasi, dan ukuran pembentuk statistik dari keputusan lokasi.

Penelitian mengenai pemilihan lokasi industri, dapat disimpulkan bahwa memilih lokasi industri mengutamakan faktor biaya mobilisasi dan establishment/konstruksi bangunan, infrastruktur penunjang seperti jalan akses dan upah tenaga kerja. Karakteristik lokasi industri dipilih dengan pertimbangan durasi



waktu yang memenuhi operasional dijalankan dalam waktu yang relatif lama. Sedangkan pada proyek jalan luar kota relatif memiliki durasi waktu yang hanya 1 atau 2 proyek dengan total kurang lebih 5 tahun. Jalan yang sudah diperbaiki tidak memerlukan lagi proyek yang nilainya besar, sehingga proyek selanjutnya dapat berada pada ujung link jalan yang sudah dikerjakan, bahkan berjarak yang jauh.

## **6. Peranan basecamp pada Produksi dan Distribusi Material Proyek Jalan**

Biaya Proyek jalan luar kota paling krusial adalah penentuan lokasi *basecamp* karena merupakan basis perhitungan biaya total selama umur proyek. Beberapa kendala yang sering muncul pada penentuan lokasi *basecamp* antara lain ditinjau dari segi biaya (mahalnya harga material batu dari *quarry*, jauhnya jarak angkut material dari *basecamp* (rini *et al.* 2018), tambahan sewa lahan *basecamp* akibat luasan material kurang, tambahan biaya akibat sosial, permasalahan mutu pekerjaan (material campuran aspal panas *hotmix* yang digunakan dalam melaksanakan *hotmix* suhunya kurang sehingga kualitas menurun) (muhamad, 2016; Rini *et al.* 2018; Tarigan, 2018) dan waktu penyelesaian pekerjaan (kapasitas produksi material).

Pengalaman yang terekam dalam data historis dapat menjadi acuan dalam penentuan proyek-proyek berikutnya. Darwis (2016) meneliti mengenai penggunaan metode analisis historis untuk menentukan anggaran produksi. Metode yang digunakan analisis data historis anggaran penjualan selama lima tahun terakhir, dan melakukan peramalaan untuk menentukan anggaran produksi di masa mendatang dengan menggunakan metode *forecasting least square*. Tujuan penelitiannya adalah agar dapat menentukan berapa banyak jumlah produksi di masa mendatang yang harus diproduksi, sehingga masalah kekurangan ataupun kelebihan persediaan barang jadi dapat teratasi dengan adanya peramalan anggaran produksi di masa mendatang.

Penggunaan data historis juga diaplikasikan untuk memprediksi kejadian jumlah kecelakaan. Jumlah kecelakaan lalu lintas diteliti oleh Haryono *et al.* (2013) dengan kajian model



*Automatic Clustering-Fuzzy Time Series-Markov Chain* dalam memprediksi data historis jumlah kecelakaan lalu lintas di kota Malang. Penelitian ini mengembangkan model peramalan *fuzzy time series* dengan pembentukan *automatic clustering* dan proses peramalan akhir menggunakan konsep rantai Markov. Model tersebut digunakan untuk memprediksi jumlah kecelakaan lalu lintas di kota Malang di masa mendatang. Sedangkan model pembandingan yang digunakan yaitu menggunakan *fuzzy time series* biasa dan untuk mengetahui seberapa akurat model yang dikembangkan, maka digunakan MAPE (*Mean Average Percentage Error*).

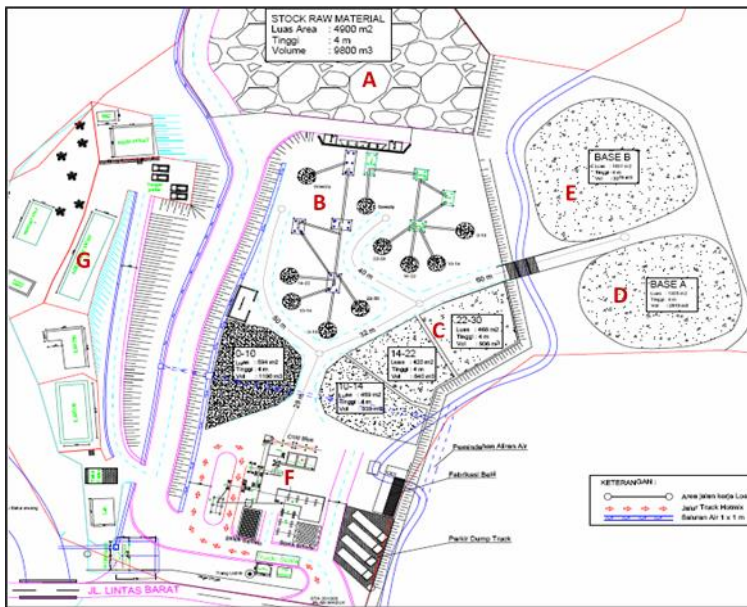
Penelitian yang dilakukan oleh Gunawan *et al.* (2006) juga menggunakan data historis pada kajian panjang data historis yang representatif model stokastik. Model stokastik adalah sebuah model untuk menghasilkan rangkaian data baru berdasarkan data historis dan memiliki parameter statistik serupa dengan data historis statistik. Metode peramalan dikembangkan berdasarkan ilmu statistik dan matematika. Data historis yang dipakai berupa data observasi atau data sampel. Keterbatasan data menjadi kendala utama dalam proses ekstrapolasi data. Kesalahan rata-rata dari data yang dihasilkan harus lebih rendah dari 5%, sehingga rata-rata data yang dihasilkan memiliki tingkat validasi minimal pada 95%. Data sintetik kemudian digunakan untuk menghitung parameter statistik. Kesalahan dari data yang dihasilkan diukur dengan kesalahan relatif. Kesalahan relatif adalah hasil dari pembagian dan kurangi parameter statistik dari data yang dihasilkan dan parameter statistik dari data historis parameter terpanjang dan statistik dari data yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan data historis untuk membuat model agar mendapatkan lokasi *basecamp* proyek yang memenuhi kriteria ideal. *basecamp* proyek jalan luar kota adalah tanah/lahan bangunan penunjang yang digunakan baik untuk kantor maupun untuk tempat penyimpanan aset perusahaan seperti peralatan, material dan pusat dari aktivitas manajemen pengendalian pekerjaan proyek. Bangunan yang terdapat di dalam lokasi *basecamp* antara lain kantor Proyek, Direksi Keet, laboratorium, Gudang pusat, *workshop*/ bengkel alat berat, barak pekerja, stock material dari *quarry*, stock material base dan juga Unit *Stone crusher* dan AMP. Bangunan yang



ada *basecamp* dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Karena banyaknya bangunan yang dibutuhkan dan luasan lahan untuk stock material, maka dicari lokasi yang sesuai dengan lahan yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Setelah mendapatkan lokasi *basecamp* yang paling optimum, maka proses selanjutnya adalah menata masing-masing bangunan agar tidak terjadi *double handling* perjalanan selama proses pekerjaan di *basecamp*.

Berikut terlampir Gambar 1 merupakan contoh *basecamp* Proyek jalan luar kota:



Gambar 1. Denah *basecamp*

Keterangan gambar 1 :

A = Stock Raw Material

B = *Stone crusher*

C = Stock Agregat per Fraksi

D = Stock Base A

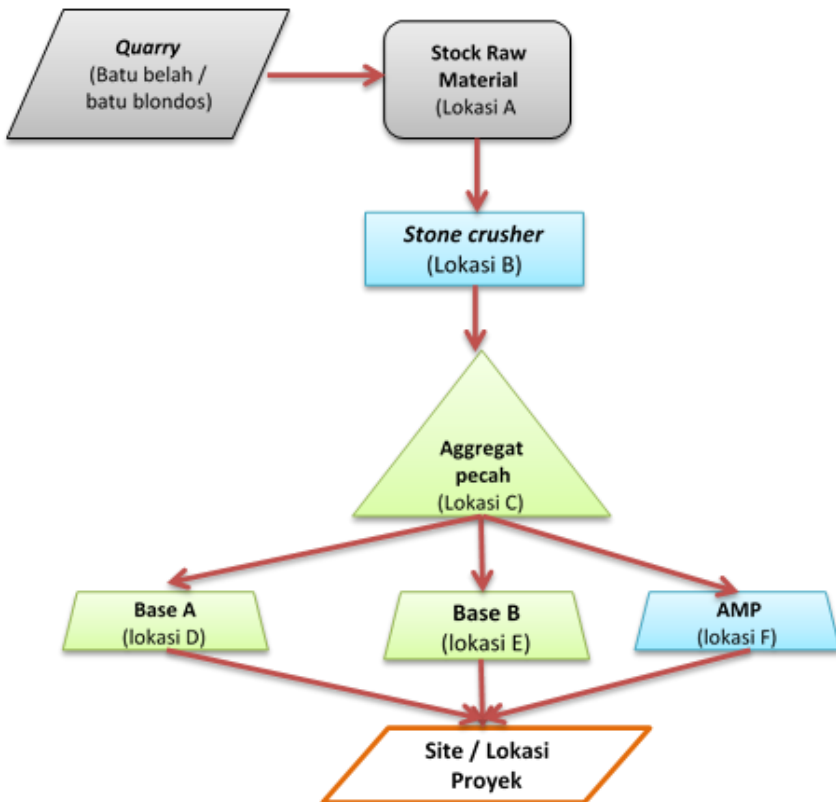
E = Stock Base B

F = *Asphalt mixing plant (AMP)*

G= Bangunan Direksi Keet, Laboratorium, *Workshop*, Gudang, Mess Karyawan.



Pada Gambar 1 terlihat bahwa aktivitas di dalam *basecamp* yaitu dari raw material berupa batu mangga/ batu belah yang berasal dari *quarry* di bawa masuk ke *basecamp* dan di tempatkan di stok raw material (A). Selanjutnya batu mangga di masukkan ke *Stone crusher* dan diproses menjadi agregat dengan fraksi (ukuran) gradasi tertentu dan distock di lokasi C. Agregat kemudian diblending/dicampur dengan Jobmix tertentu untuk menghasilkan Base tipe A (lokasi D) dan Base B (lokasi E). Untuk memproses material campuran *hotmix*, maka agregat dari lokasi C di bawa ke AMP (lokasi F). Kemudian campuran *hotmix* di angkut ke lapangan menuju lokasi pekerjaan. Proses material dari *Quarry* sampai dengan site/lokasi Proyek selengkapnya disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema/bagan Alir Proses Material



Munsil (2018) meneliti tentang penghematan biaya konstruksi dengan mengerjakan major item pekerjaan sendiri, atau tidak disubkonkan. Berarti proses pemecahan batu oleh *Stone crusher* dan proses pencampur material di *Asphalt mixing plant* dioperasikan sendiri. Hal lain yang dapat membuat efisien adalah menempatkan lokasi *plant* berada pada titik pertengahan (ditinjau dari panjang lokasi pengerjaan jalan). Dengan menempatkan pada posisi tengah, maka biaya pengantaran bahan hasil produksi *hotmix* ke lokasi pekerjaan menjadi lebih efisien karena jaraknya lebih dekat. Untuk lokasi *quarry* (sumber material batu), biaya pengangkutan material akan lebih lagi apabila lokasinya dekat dengan *basecamp* proyek.

Rini *et al.* (2018) meneliti mengenai pengaruh jarak penghamparan terhadap suhu campuran. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa jarak sangat berpengaruh terhadap penurunan suhu, dimana nilai  $R_{square}$  mendekati satu. Sedangkan untuk  $\Delta$  suhu terhadap  $\Delta$  kepadatan tidak berpengaruh dimana nilai  $R_{square}$  yang didapat kecil. Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan suhu pada material *hotmix* yang diangkut oleh DT/dump truck yaitu jarak angkut campuran aspal panas, situasi perjalanan saat proses pengangkutan aspal, waktu pelaksanaan penghamparan, kondisi cuaca / lingkungan dan penggunaan penutup/terpal di atas campuran aspal waktu proses pengangkutan.

Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, mendefinisikan sebagaimana pada Tabel 1, batas suhu minimum yang dibutuhkan untuk menggelar campuran *hotmix* adalah sebagai berikut

**Tabel 1. Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pematatan**

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (Pa.s)	Perkiraan Temperatur Aspal(°C)
			Tipe I
1	Pencampuran benda uji <i>Marshall</i>	0,17 ± 0,02	155 ±1
2	Pematatan Benda Uji <i>Marshall</i>	0,28 ± 0,03	145 ±1
3	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 - 0,5	145 - 155



No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (Pa.s)	Perkiraan Temperatur Aspal(°C)
			Type I
4	Menuangkan campuran beraspal dari alat pencampur ke dalam truk	± 0,5	135 - 150
5	Pemasokan ke alat penghampar	0,5 - 1,0	130 -150
6	Pemadatan Awal (roda baja)	1 - 2	125 - 145
7	Pemadatan Antara (roda karet)	2 - 20	100 - 125
8	Pemadatan Akhir (roda baja)	< 20	>95

Catatan:

1. Perkiraan temperatur Aspal Type I harus disesuaikan dengan korelasi viskositas dan temperatur
2.  $1 \text{ Pa.s} = 1.000 \text{ cSt} = 1000 \text{ mm}^2/\text{s}$  dimana :  
Pa. S : Pascal Secon  
cSt : Senti stokes  
 $\text{mm}^2/\text{s}$  : sequare milimeter per second

Berdasarkan Tabel 1, suhu minimum penggelaran adalah 130 derajat Celcius. Sehingga jika terjadi pengiriman campuran aspal *hotmix* dari lokasi *basecamp*/AMP yang jaraknya jauh maka suhu campuran *hotmix* pasti akan turun. Muhammad (2016) meneliti tentang terjadinya kehilangan temperatur campuran *hotmix* dengan fungsi waktu. Salah satu penyebab turunnya kualitas hasil pekerjaan infrastruktur jalan adalah akibat banyaknya kehilangan temperatur selama pengangkutan, yang diakibatkan oleh jauhnya instalasi AMP di *basecamp* dengan lokasi pekerjaan, sehingga permukaan jalan cepat keropos dan rusak. Untuk mendapatkan mutu yang baik dalam pembangunan jalan dengan aspal *hotmix* serta temperatur yang tetap terjaga sesuai spesifikasi teknis. Misalnya untuk temperatur penuangan ke dalam truk pengangkutan berkisar  $135^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$ , sedangkan rentang temperatur pengangkutan sebelum memasukkan ke dalam alat penghampar (Finisher) antara  $130^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$  SNI 03-6721-2002.

Tarigan (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh temperature pemadatan terhadap *Marshall* properties campuran aspal beton AC-WC. Dari hasil analisa uji *Marshall* disimpulkan bahwa nilai parameter *Marshall* yang memenuhi persyaratan adalah pada



rentang kadar aspal 5,50 – 6%, sehingga didapat kadar aspal optimum pada nilai tengah tentang rentang batas di atas adalah sebesar 5,70%. Selain itu pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai karakteristik uji *Marshall*, memberikan hasil bahwa semakin turunnya temperatur nilai stabilitas semakin turun dan nilai flow juga semakin turun. Berdasarkan penelitian di atas, maka dapat dirangkum dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Metode optimasi pemilihan lokasi**

<b>Peneliti</b>	<b>Obyek</b>	<b>Metode</b>	<b>Faktor yang berpengaruh</b>
Munsil (2018)	Lokasi <i>basecamp</i>	Deskriptif	jarak terdekat dari lokasi <i>basecamp</i> ke proyek dan dekat dengan <i>basecamp</i> .
Rini <i>et al.</i> (2018)	jarak penghamparan terhadap suhu campuran	Perhitungan radius jarak	Jarak angkut campuran aspal panas, Situasi perjalanan saat proses pengangkutan aspal, Waktu saat penghamparan, Kondisi cuaca / lingkungan, Penutup/terpal campuran aspal waktu proses pengangkutan
Muhammad (2016)	kehilangan temperatur campuran <i>hotmix</i> dengan fungsi waktu	Pengujian suhu aspal	rentang temperatur pengangkutan sebelum memasukkan ke dalam alat penghampar (Finisher) antara 130 °C - 150 oC SNI 03-6721-2002
Tarigan (2018)	tentang pengaruh temperatur pemadatan terhadap <i>Marshall</i> properties campuran aspal beton AC-WC	Pengujian <i>Marshall</i> Properties	semakin turunnya temperatur nilai stabilitas semakin turun dan nilai flow juga semakin turun



Penelitian yang sudah ada di atas memberikan kesimpulan bahwa untuk menentukan lokasi *basecamp* proyek jalan akan lebih baik apabila waktu tempuh antara *basecamp* dan lokasi link proyek memenuhi syarat dalam spesifikasi. Jarak angkut material *hotmix* dari *basecamp* menuju lapangan harus memenuhi syarat minimal suhu penghamparan material sehingga campuran yang dihampar dan dipadatkan mempunyai stabilitas *hotmix* memenuhi spesifikasi. Penelitian ini juga membahas mengenai proyek jalan luar kota, tetapi tidak hanya ditinjau dari segi operasional pekerjaan tetapi juga dari aspek lain yang di dapat dari pengalaman / data historis.

## 7. Faktor Dominan Penentuan *basecamp*

Referensi penelitian yang sudah ada dapat memberikan informasi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi penentuan lokasi. Bidang usaha yang berpengaruh adalah usaha dagang, industri manufaktur internasional dan produksi distribusi material proyek jalan. Faktor yang mempengaruhi pada proyek infrastruktur dalam menentukan lokasi adalah jarak *quarry* ke *basecamp*, jarak *basecamp* ke lokasi pekerjaan dan akses jalan ke lapangan. Sedangkan faktor yang berpengaruh pada pemilihan lokasi usaha dagang adalah jarak yang dekat dengan *customer*, akses jalan yang mudah, luas lahan, sewa lahan, kondisi lingkungan dan peraturan Pemerintah yang mendukung. Pemilihan lokasi pada industri manufaktur internasional mempunyai faktor yang mempengaruhi adalah biaya sewa lahan, upah minimum tenaga kerja lokal dan jarak yang dekat dengan perkotaan. Penelitian mengenai pekerjaan *hotmix* disimpulkan bahwa *basecamp* harus dekat dengan lokasi link proyek jalan, dan jalan akses dari *basecamp* menuju lapangan harus memungkinkan memenuhi syarat minimal suhu penghamparan material dapat digelar.

Tinjauan mengenai faktor yang berpengaruh dalam memilih *basecamp* mempunyai jenis yang beraneka ragam dan saling terkait. Tetapi untuk memperoleh faktor yang paling dominan, penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarki Proses* (AHP). Dimana metode AHP diharapkan menjadi metode yang paling sesuai dan mendapatkan hierarki faktor dominan. Sedangkan untuk memperoleh optimasi perhitungan digunakan linear program.



## 8. Model Penentuan Lokasi basecamp

### *Metode AHP (Analytical Hierarchy Process)*

Thomas L. Saaty mengembangkan sebuah model pendukung keputusan yang disebut dengan *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Model AHP ini bertujuan menyelesaikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi sebuah hierarki. Hierarki adalah suatu representasi dari suatu permasalahan yang kompleks dalam sebuah struktur multi level vertikal. Dimana level pertama adalah tujuan, kemudian level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya sampai level terakhir adalah alternatif pilihannya.

Permasalahan yang ada akan menjadi lebih terstruktur dan sistematis dengan menggunakan hirarki tersebut. AHP sering digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Struktur yang berhirarki, memberikan gambaran yg jelas sampai pada subkriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi berbagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

AHP bertujuan untuk menyusun prioritas dari berbagai alternatif pilihan yang ada. Terdapat 4 aksioma-aksioma menurut (Pratiwi, 2016), diantaranya yaitu:

1. *Reciprocal Comparison* artinya pengambilan keputusan harus memuat perbandingan dan menyatakan preferensinya.
2. *Homogeneity* artinya harus dapat dinyatakan dalam skala terbatas atau elemen-elemennya dapat dibandingkan satu sama lain.
3. *Independence* artinya mengasumsikan bahwa kriteria tidak dipengaruhi oleh alternatif-alternatif yang ada melainkan oleh objek keseluruhan.
4. *Expectation* artinya struktur hirarki diasumsikan lengkap.

Menurut Tominanto dalam Narti (2017) menyimpulkan bahwa AHP adalah sebuah metode, memecah permasalahan yang komplek atau rumit dalam situasi yang tidak terstruktur menjadi

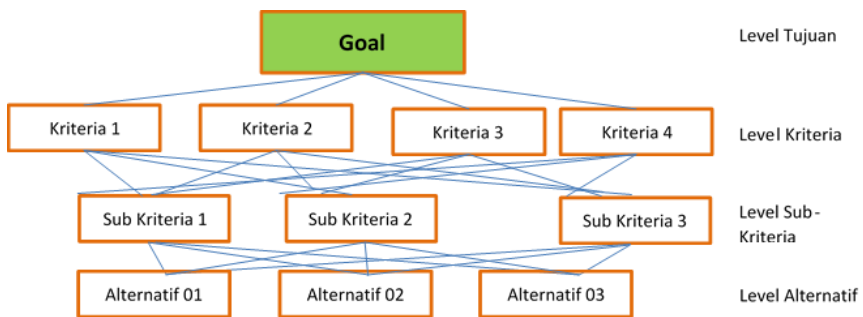


bagian-bagian komponen. Mengatur bagian atau variabel ini menjadi suatu bentuk susunan hierarki, kemudian memberikan nilai numerik untuk penilaian subjektif terhadap kepentingan relatif dari setiap variabel dan mensintesis penilaian untuk variabel mana yang memiliki prioritas tertinggi yang akan mempengaruhi penyelesaian dari situasi tersebut.

Metode AHP secara teknis dan pada dasarnya dalam metode AHP terdiri dari prinsip-prinsip dasar dalam memahami AHP. Adapun prinsip dasar tersebut menurut Basuki *et al.* Andharini (2016) yaitu:

1. Menyusun Hirarki

Persoalan yang akan diselesaikan, diuraikan menjadi unsur-unsurnya, yaitu kriteria dan alternatif, kemudian disusun menjadi struktur hirarki (Gambar 3).



**Gambar 3. Struktur Hirarki AHP**

2. Penilaian Kriteria dan Alternatif

Kriteria dan alternatif dinilai melalui perbandingan berpasangan. Untuk persoalan yang ada skala 1 sampai skala 9 adalah skala terbaik dalam mengekspresikan pendapat. Perbandingan dilakukan berdasarkan kebijakan pembuat keputusan dengan cara menilai tingkat kepentingan antara elemen yang satu dengan elemen yang lainnya.

3. Penentuan Prioritas

Untuk setiap kriteria dan alternatif, perlu dilakukan perbandingan berpasangan. Nilai-nilai perbandingan relatif kemudian diolah untuk menentukan peringkat alternatif dari seluruh alternatif.



Baik kriteria kualitatif maupun kuantitatif dapat dibandingkan sesuai dengan penilaian yang telah ditentukan untuk menghasilkan suatu bobot dan prioritas. Bobot atau prioritas ini dihitung dengan manipulasi matriks atau dengan penyelesaian matematik.

#### 4. Konsistensi Logis

Konsistensi logis menurut Kusri (2016) memiliki dua makna. Pertama, objek-objek yang serupa bisa dikelompokkan sesuai dengan keseragaman dan relevansi. Kedua, menyangkut hubungan antar objek yang didasarkan pada kriteria tertentu. (Handayani, 2015) "Nilai rasio konsistensi harus 10% atau kurang. Pada referensi yang lain menyebutkan bahwa hasil perhitungan nilai inkonsistensi antara 0 hingga 1. Jika lebih dari 10%, pertimbangan yang telah dibuat mungkin agak acak dan mungkin perlu untuk diperbaiki". (Malik *et al.* 2018) "Inkonsistensi ini dapat disebabkan oleh kesalahan memasukkan penilaian, kurangnya informasi, kurangnya konsentrasi, dunia nyata yang tidak selalu konsisten, atau model struktur hirarki yang kurang sesuai".

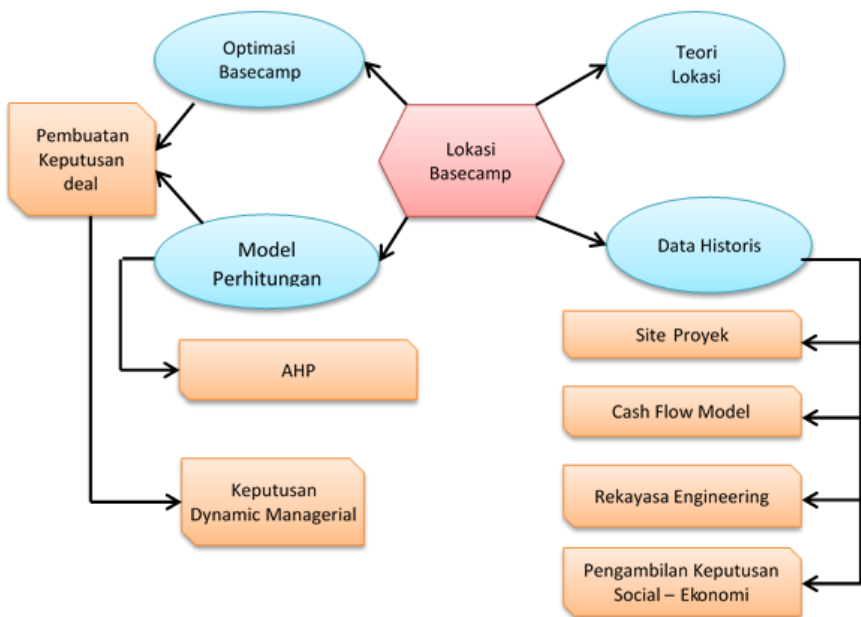
Dari penelitian mengenai teori lokasi dapat diperoleh kesimpulan bahwa pemilihan lokasi mengutamakan faktor jarak dalam penempatan lokasi dagang, ataupun faktor perijinan dan biaya upah pekerja yang *low cost*. Apakah pada proyek jalan luar kota juga sama dengan apa yang menjadi pertimbangan utama dalam penelitian lain? Penelitian ini akan menjelaskan bahwa pengalaman/data historis yang dimiliki oleh kontraktor dalam menjalankan proyek sebelumnya diharapkan mampu dibuat dalam sebuah model/prosedur yang dapat mewakili permasalahan yang ada di lapangan. Melalui model ini dapat dijadikan panduan/*managerial tool* untuk dapat memutuskan lokasi *basecamp* yang paling efektif.

### 9. Kerangka Berpikir Metode Pemilihan Lokasi Basecamp

Penentuan lokasi *basecamp* diawali dengan mengumpulkan data historis yang sudah diperoleh dari pengalaman perusahaan dalam menyelesaikan proyek jalan luar kota. Data yang dikumpulkan berupa data site proyek (lokasi proyek, *basecamp*, jalan akses), cash flow model, rekayasa engineering, dan pengambilan keputusan Social-Ekonomi. Dengan menggunakan teori lokasi yang telah diteliti oleh



peneliti-peneliti sebelumnya, maka pada penelitian ini dibuat sebuah model yang dapat merepresentatifkan kompleksnya permasalahan di lapangan menjadi sebuah prosedur/model menggunakan metode AHP dan Linear program, untuk memperoleh perbandingan lokasi *basecamp*. Dengan menggunakan Linear program maka proyek dapat membuat optimasi perhitungan. Output dari optimasi tadi adalah pembuatan keputusan yang ideal. Gambaran mengenai Kerangka berfikir dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Kerangka Berpikir**

## Referensi

- Aswan, Muhammad et al. 2005, Analisa Pemilihan Lokasi Asfalt Mixing Plant (AMP) Pada Pekerjaan Di Ruas Jalan Pelaihari – Sebamban, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi II, Surabaya, Indonesia
- Basuki, Ari dan Andharini Dwi Cahyani. (2016). Sistem Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Deepublish.



- Chatzoglou, Prodromos et al. 2018, Plant Location Factors: a field research, <https://doi.org/10.1007/s12597-018-0341-1>, Springer Nature, Switzerland
- Choi, Sunkyung et al. (2017) Diagramming development for a base camp and staging area in a humanitarian logistics base airport, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* Vol. 7 No. 2, Tokyo, Jepang
- Christensen, Jesper L et al. September 2005, The Strategic importance of location: Location decisions and the effects of firm location on innovation and knowledge acquisition, *European Planning Studies*, vol 13, no.6, London, United Kingdom
- Darwis, Dedi, Tika Yusiana, 2016. Penggunaan Metode Analisis Historis untuk menentukan Anggaran Produksi, *Jurnal Management Sistem Informasi dan Teknologi*, Volume 06, no 2. ISSN 2088-5555. Fakultas Ilmu Komputer Universitas Bandar Lampung, Lampung Indonesia.
- Dixit, Ashutosh et al. 2019, Strategic Business Location Decisions: Importance of Economic Factors and Place Image, *Rutgers Business Review*, Vol 4 No 1, Ohio, United States
- Dube, Jean et al. 2016 , Location Theories and Business Location Decision : A Micro –Spatial Investigation of a Nonmetropolitan Area in Canada, *Southern Regional Science Association*, France
- Fu'ad, Eko N. 2015, Pengaruh Pemilihan Lokasi Terhadap Kesuksesan Usaha Berskala Mikro/Kecil Di Komplek Shopping Centre Jepara, *Jurnal Media Ekonomi dan Manajemen, Univ Tujuh Belas Agustus 1945*, ISSN 0854-1442, Semarang, Indonesia
- Hanggita, Ariffa T. 2018, Analisis faktor pemilihan lokasi usaha jasa pada UMKM di Kecamatan Paciran, *Jurnal Manajemen Bisnis, Universitas Muhammadiyah Malang*, ISSN 2089-0176
- Haryono, Eko, Agus Widodo, Sobri Abusini, 2013. Kajian model Automatic Clustering-Fuzzy Time Series-Markov Chain dalam memprediksi data historis jumlah kecelakaan lalu lintas di kota Malang, *Jurnal Sains Dasar*, Volume 2, no 1. ISSN 2085-9872. Program Pascasarjana Matematika, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.



- Kasinath, H. M. (2013). Understanding and using qualitative methods in performance measurement. *Journal of Educational Studies, Trend and Practices*, 3(1), 46-57.
- Maulana, Yogi S. 2018, Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik PT Sung Chang Indonesia cabang kota Banjar, *Jurnal Ilmiah Administrasi bisnis, Sekolah Tinggi Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik Bina Putera Banjar, Kota Banjar, Jawa Barat, Indonesia*
- Messah, Yunita A et al. 2016, Analisis Biaya Produk Asphalt mixing plant (AMP) Di Pulau Timor, *Jurnal Teknik Sipil, Vol V, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia*
- MC Graw -Hill / Irwin, 2011, *Plant Location Methods, Operations and Supply Chain Management, New York, America*
- Mc Cusker, K., & Gunaydin, S. (2015). Research using qualitative, quantitative or mixed methods and choice based on the research. *Perfusion*. DOI: 10.1177/0267659114559116
- MKJI, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia, Kapasitas Jalan Luar Kota, Kementrian Pekerjaan Umum, 1997.*
- Messah, Yunita A et al. 2013. Kajian Penyebab Keterlambatan Pelasanaan Proyek Konstruksi Gedung di Kota Kupang
- Moleong, Lexy J 2005, *Metodologi Penelitian Kualitatif, Remaja Rosdakarya, Cet 21, hlm. 11. Bandung, Indonesia.*
- Muhammad, 2016, Analisis Kehilangan Temperatur Pada Aspal Hotmix Selama Perjalanan Ke Lokasi Penghamparan, *Teras Jurnal, Vol 6, No.2, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia. ISSN 2088-0561*
- Munsil, Derry Perdana 2018, *Dasar Manajemen Konstruksi Jalan (tahapan pre-start), Deepublish, Yogyakarta, Indonesia*
- Narti. (2017). Pengambilan Keputusan Pemilihan Siswa Berprestasi Menggunakan Metode AHP Dan Topsis. *Jurnal Informatika*, 4 No.2 (September 2017, ISSN: 23556579& E-ISSN: 2528-2247), 198-205
- Nadiasa, M et al 2014 Analisis Pengaruh Lokasi Terhadap Biaya Proyek Irigasi (Studi Kasus : Pengangkutan Material Ke Lokasi Proyek Irigasi Di Kabupaten Gianyar), *Jurnal Ilmih Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bali.*

- Nugraha, Efata Satya et al. 2014, Pemodelan Transshipment untuk Optimasi Biaya Transportasi Industri Hotmix, Seminar Nasional Teknik Sipil X, ITS, Surabaya, Indonesia
- Octiananda, Cut T et al. 2016, Analisis Penentuan Lokasi : Studi Kasus Industri Rumah Tangga (Home Industri) Di Wilayah Kota Banda Aceh, Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM) Ekonomi Pembangunan, Aceh, Indonesia
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, nomor : 14/PRT/M/2013 tentang Perubahan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 07/PRT/M/2011 tentang Standar dan Pedoman Pengadaan Pekerjaan Konstruksi dan Jasa Konsultansi.
- Pratiwi, Heny. (2016). Buku Ajar Sistem Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Deepublish.
- Ramli, M. Z., Malek, M. A., Hanipah, M. H., Lin, C. L., Sukri, M. F. M., Zawawi, M. H., Abidin, M. Z. Z., dan Fuad, N. F. S. M. (2018). "Study of Factors Influencing Construction Delays at Rural Area in Malaysia". *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1049(1):012017.
- Rianto, Irwan B et al. 2018, Penentuan lokasi kawasan Industri Textil terpadu di kabupaten Majalengka, Jurnal Institut Teknologi Sepuluh november, ISSN 2337-3539, Surabaya, Indonesia
- Rini, Alvio et al. 2018, Pengaruh jarak penghamparan terhadap Perubahan Suhu Campuran, Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain. JRSDD, Vol 6, no 2, Unila, Lampung, Indonesia.
- Rosalina, Silvia S. 2018, Strategi Penentuan Lokasi Global Perusahaan (Studi Kasus di Starbucks Jakarta), Jurnal Bisnis dan manajemen, ISSN 1978-3108, Universitas Jember, Indonesia
- S. Gunawan, S. E. Wahyuni, and S. Suharyanto, 2006 , Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik," *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, vol. 14, no. 2, pp. 129-14., ISSN 2549-6778.
- Saaty, Thomas et al. 2017 , Decision Making in Complex Environment, IMBA, Brazil



- Sale, M. J., Lohfeld, L. H., & Brazil, K. (2002). Revisiting the quantitative-qualitative debate: Implication for mixed-method research. *Quality and Quantity*, 36(1), 43-53
- Schroeder, Roger G. 2012, *Polaries Industries Inc : Global Plant Location, Operation Management in the supply chain*, Kellogg School of Management, Illionis, United States
- Siahaan, E. Sugiyarto, Sunarmasto, *Optimalisasi Tata Letak Fasilitas Pada Proyek Pembangunan Gedung Sudirman Suite Jakarta Menggunakan Metode Multi Objectives Function*, e-Jurnal Matriks Teknik Sipil, 2018, Universitas Sebelas Maret
- Siswantika, Yohanita P et al. 2015, *Pengaruh Faktor Pemilihan Lokasi Terhadap Efektifitas Pasar Pangungrejo*, Jurnal Pembangunan wilayah dan Partisipatif, ISSN 1858-4837, Universitas Sebelas Maret, Solo, Indonesia
- Sofaer, S. (1999). *Qualitative methods: what are they and why use them?*. *Health Services Research* 34:4 Part II.
- Song, Ruizhou et al. 2019, *Adaptive Dynamic Programming: Single and Multiple Controllers*, Springer, Beijing, China
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jebatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Indonesia
- Sugiaro. 2001. *Teknik Sampling*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Suharsaputra, Uhar. 2012. *Metode Penelitian: Kuantitatif, Kualitatif dan Tindakan*. PT. Refika Aditama, Bandung.Indonesia
- Tarigan, Gunawan. 2018, *Pengaruh Temperatur Pematatan Terhadap Marshall Properties*, Buletin Utama Teknik, Vol 14, No 1, ISSN 2598-3814, Universitas Islam Sumatera Utara, Medan, Indonesia
- Xu, Wei et al. 2018, *Location Decision - Making of Equipment Manufacturing Enterprise under Dual-Channel Purchase and Sale Mode*, Wiley, Hindawi, Shenyang, China
- Waluyo, Rudi et al. 2018, *Studi perbandingan Biaya Konstruksi Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur*, Jurnal Teknik Sipil, Volume 9 No 1, Oktober 2018.



## PROFIL PENULIS



**Ferry Hermawan** adalah Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Lahir di Semarang, 11 Agustus 1978, anak ketiga dari tiga bersaudara. Pendidikan S1 (2002) dan S2 (2006) bidang Teknik Sipil dari Universitas Diponegoro. Pendidikan S3 (2017) bidang the Built Environment, Coventry University, Inggris. Sejak 2017 menjadi Koordinator Laboratorium Manajemen Konstruksi, Departemen Teknik Sipil. Bidang keahlian penulis adalah Manajemen Strategis Bangunan Publik. Kompetensi yang dimiliki adalah Ahli Utama Keselamatan Konstruksi. Saat ini penulis merupakan Ketua Dewan Pimpinan Wilayah Jawa Tengah, Perkumpulan Ahli Keselamatan Konstruksi Indonesia (PAKKI) sejak 2018 dan sebagai Sekretaris II Persatuan Insinyur Indonesia Wilayah Jawa Tengah. Aktifitas profesi yang dilakukan satu dekade terakhir selain sebagai konsultan Teknik sipil, juga sebagai auditor independent bangunan public, asesor kompetensi BNSP (sejak 2019) dan narasumber Kementerian PUPR bidang Keselamatan Konstruksi (sejak 2017).



**Eko Yunianto** lahir di Purworejo, 5 Januari 1983, adalah mahasiswa S2 Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Konsentrasi Manajemen Rekayasa Bangunan Tinggi, Kelas Kerjasama Angkatan 2018. Penulis mempunyai latar belakang Pendidikan S1 (2006) dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan S2 Magister Teknik Sipil Undip (2021). Pengalaman kerja yang pernah di tempuh adalah bekerja di PT Binakarya sebagai Assistant Engineer (2007). Karirnya berlanjut di PT Jaya Konstruksi MP, Tbk. Beberapa proyek yang ditangani antara lain Proyek Jalan Muara Teweh (2007-2008), Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Mandrehe – Sirombu Nias (2008 – 2009), Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Lolowau – Teluk Dalam Bias (2009-2010), Proyek Pembangunan Bypass Sumbawa Besar Tahun (2010-2011), Proyek



Jalan ENB 01 C Sumbawa (2011 - 2013), Proyek Jalan Biha - Krui (2014-2017). Saat ini bertugas sebagai Kepala Bagian Planning dan Monitoring pada kantor pusat PT Jaya Konstruksi MP, Tbk



**Nuroji** adalah Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro pada Bidang Struktur sejak tahun 1991-sekarang. Nuroji lahir di Pemalang, 16 Maret 1963, mempunyai latar belakang Pendidikan S1 (1989) dari Teknik Sipil Undip dan S2 (1996) dan S3 (2004) dari Institut Teknologi Bandung. Kegiatan keprofesian yang diikuti adalah Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI), dengan kualifikasi Ahli Utama Struktur. Kegiatan Organisasi yang diikuti antara lain sebagai Tenaga Ahli Bangunan Gedung, Kota Semarang (2010-2015), Sebagai Tim Penilai Komisi Amdal Provisi Jawa Tengah (2009-sekarang) dan sebagai Staf Ahli DPRD Provinsi Jawa Tengah (2005-2009).





# PENGEMBANGAN JALUR TREM SEBAGAI JALUR WISATA KOTA LAMA-LAWANGSEWU DALAM RANGKA MENUJU TRANSPORTASI RAMAH LINGKUNGAN

Ismiyati<sup>1</sup>, Eko Yulipriyono<sup>1</sup>, Fairuz Adibah<sup>2</sup>, dan Maghfira S. P. Tolat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

<sup>2</sup> Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Indonesia

## 1. Pendahuluan

**Trem** adalah kendaraan angkutan umum perkotaan berbasis rel, terdiri satu kereta atau lebih, Jalur *Trem* umumnya berbaur dengan jalan raya dan merupakan kendaraan angkutan umum ramah lingkungan dengan kecepatan maksimum 80 km/jam (Widoyoko, 2010). Pada tahun 1869 *Trem* sudah pernah diterapkan di Indonesia yaitu di Kota Jakarta yang dikelola oleh Bataviasche Tramway Maatschappij (BTM) menghubungkan Amsterdamse Poort (sekitar pasar ikan dengan Harmoni melalui jalan Gajahmada. *Trem* Jakarta saat itu merupakan lebar sepur yang tidak lazim dengan ukuran 1118 mm, karena dengan penghela kuda kurang efisien, maka diganti dengan *Trem* dengan lokomotif uap dan akhirnya dikembangkan dengan *Trem* listrik. Kota kota lain di Indonesia yang mengoperasikan *Trem* perkotaan diantaranya Kota Semarang (Widoyoko, 2010).

Semarang merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia sekaligus merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Tengah. Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi serta pariwisata menyebabkan Kota Semarang harus memiliki moda transportasi umum yang bisa mengakomodasi kebutuhan pengunjung wisatawan yang datang ke Semarang. Transportasi umum adalah moda yang sangat efisien dalam penggunaan ruang jalan. Salah satu angkutan umum yang terdapat di Kota Semarang adalah *BRT (Bus Rapid Transit)*. Penggunaan *BRT* sendiri di Kota Semarang relatif rendah dan belum terintegrasi dengan



baik dikarena waktu tempuhnya relatif lama.serta kurang fleksibel karena waktu tempuhnya lama.

Purwanto & Ismiyati (2014) menyatakan bahwa kemacetan merupakan masalah yang tidak dapat dihindari, hal ini disebabkan oleh banyaknya kendaraan pribadi yang melintas pada suatu ruas jalan. Semakin banyak pengguna kendaraan pribadi yang beroperasi maka akan menyebabkan penumpukan kendaraan. Penyebab kemacetan lalu lintas di kota-kota besar disebabkan oleh rendahnya penggunaan angkutan umum. Dengan memaksimalkan penggunaan angkutan umum, menjadi solusi yang sangat penting untuk menyelesaikan masalah transportasi (Tahir, 2011). Selain itu, meningkatkan aksesibilitas dapat mengurangi penggunaan mobil dan emisi gas rumah kaca, mendorong perkembangan ekonomi, meningkatkan kualitas kehidupan perkotaan dan sebagai moda untuk wisata.

Pendekatan perencanaan yang berpusat pada aksesibilitas saat ini yang populer adalah transit-oriented development (TOD) (Curtis & Scheurer, 2010; Handy, 2002; Papa & Bertolini, 2015), TOD sendiri dalam kondisi yang menguntungkan diharapkan dapat meningkatkan aksesibilitas dengan menyediakan tingkat pelayanan transportasi yang relatif tinggi, diperuntukan guna memaksimalkan kepadatan penggunaan lahan yang relatif tinggi, penggunaan lahan campuran, bersepeda dan ramah pejalan kaki di sekitar stasiun transit (Bertolini & Spit, 1998; Calthorpe, Yang, & Zhang, 2014; Cervero, 1998; Cervero et al., 2004; Curtis, Renne, & Bertolini, 2009; Xu, Guthrie, Fan, & Li, 2017).

Di sisi lain, beberapa penelitian menganjurkan bahwa komponen transportasi TOD penting untuk meningkatkan aksesibilitas. Misalnya, Papa dan Bertolini (2015) menyelidiki hubungan antara tingkat TOD area metropolitan dengan aksesibilitas berbasis kereta api ke pekerjaan dan penduduk. Mereka menemukan bahwa aksesibilitas berbasis rel kumulatif lebih tinggi di kota-kota dengan konsep TOD yang lebih tinggi (dalam penelitian mereka didefinisikan sebagai kesesuaian antara distribusi kepadatan penggunaan lahan dan konektivitas jaringan yang ada disekitar lahan tersebut). Analisis mereka juga menunjukkan korelasi tinggi antara



keseluruhan tingkat konektivitas jaringan (*komponen transportasi*) dan aksesibilitas.

Pada studi kasus konsep TOD (*bus massal, tram*) di Beijing, China hasilnya adalah lokasi area stasiun relatif jauh terhadap pusat kota dan memaksimalkan penggunaan lahan (misalnya, kepadatan perumahan rata-rata yang relatif lebih rendah; kepadatan pekerjaan rata-rata yang relatif lebih rendah di sektor ritel, akomodasi, katering; kepadatan pekerjaan rata-rata yang relatif lebih tinggi di sektor pendidikan, kesehatan, budaya; dan tingkat campuran fungsional rata-rata yang relatif lebih rendah) di sekitar stasiun perjalanan, ditempuh dengan memakan waktu satu jam dari stasiun yang ditargetkan. Sehingga, daerah tangkapan relatif lebih penting dalam meningkatkan aksesibilitas di daerah tersebut ketimbang dengan meningkatkan kinerja transit daerah.

TOD dikembangkan dalam rangka untuk mengatasi permasalahan kemacetan melalui pengintegrasian sistem jaringan transportasi massal (*Tram, Bus massal, LRT, MRT*). Selain itu juga, TOD bertujuan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi sekaligus mendorong pengguna transportasi untuk menggunakan transportasi umum. Penggunaan transportasi umum menjadi salah satu solusi terbaik. Agar pengguna kendaraan pribadi berpindah ke angkutan umum, angkutan umum harus menyediakan fasilitas yang nyaman dan waktu perjalanan yang ditempuh singkat serta keamanannya terjamin. Salah satu angkutan umum yang terdapat di Kota Semarang adalah BRT (*Bus Rapid Transit*). Penggunaan BRT sendiri di Kota Semarang relatif rendah dan belum terintegrasi dengan baik karena tingginya penggunaan angkutan pribadi. BRT juga kurang fleksibel dalam penggunaannya dikarenakan waktu tempuh yang lebih lama.

Pada konsep TOD (*Transit Oriented Developmen*) dalam pengembangan LRT (*Light Rail Transit*) di Kota Semarang digunakan untuk meminimalkan pergerakan penggunaan angkutan pribadi dan juga bertujuan mengatasi masalah perkotaan yaitu dengan *tren* pembangunan apartemen di kota Semarang (*Ismiyati 2019*) dimana, nantinya LRT ini terintegrasi dengan apartemen. Tetapi jika penggunaan LRT diterapkan di Kota Semarang tidak dapat sepenuhnya berhenti di semua tempat. Kondisi demikian dikarenakan



di Kota Semarang terdapat tempat yang bersifat *heritage* atau warisan, dimana bangunan pada tempat tersebut harus tetap terjaga keasliannya seperti contohnya Kota Lama Semarang. Kota Lama sendiri merupakan salah satu tempat wisata yang sangat terkenal di Kota Semarang, dimana nantinya akan menjadi salah satu jalur pemberhentian angkutan Trem untuk memaksimalkan pariwisata di kota Semarang, mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dalam mengatasi kemacetan. Sehingga “Perencanaan Angkutan Trem di Kota Semarang” diharapkan dapat mengatasi masalah transportasi di Kota Semarang karena Trem tidak terintegrasi dengan apartemen yang tidak mengganggu kawasan *heritage* Kota Semarang.

Di negara Australia sendiri tepatnya di Kota Melbourne merupakan satu – satunya kota dengan jaringan trem utama. Jaringan trem di Kota Melbourne merupakan jaringan yang terbesar dan tertua di dunia. Memiliki 250 km jalur ganda, 1763 halte trem dan melayani 182,7 juta perjalanan penumpang pada tahun 2010 – 2011 (*Yarra Trams, 2012*). Untuk patokan kinerja dari jaringan Trem menggunakan teknologi lokasi kendaraan otomatis (AVL) oleh operator. Pemantauan otomatis telah digunakan sejak tahun 1985 (*Yarra Trams, 2012*), dengan titik waktu di sepanjang rute trem yang menyediakan data perjalanan terkait kepatuhan jadwal. Sementara keberadaan *Trem* di Kota Semarang di akhir abad 18 sebagai angkutan kota turut memberikan warna tersendiri bagi kemajuan kota yang kala itu ramai oleh aktivitas perdagangan dan bisnis. Tercatat ada beberapa wilayah di Semarang yang pernah dilayani oleh jaringan tram, yaitu: Jomblang, Banjir Kanal Barat, dan Pindrikan. Semua aktivitas tram terpusat di Stasiun Sentral SJS atau Stasiun Jurnatan.

Menurut catatan sejarah, jalur tram pertama yang dibangun di Kota Semarang adalah jalur dari Stasiun Jurnatan hingga Halte Jomblang yang dibuka pada tanggal 1 Desember 1881. Pada tahun 1882 hingga 1940, tram menjadi angkutan masal andalan bagi warga Semarang. Jaringannya yang terhubung dengan pusat-pusat perekonomian seperti pasar menjadikan tram ramai digunakan oleh warga Semarang kala itu. Seiring berjalannya waktu, tak lama dari tahun 1940-an jalur tram di Kota Semarang ditutup oleh SJS dengan alasan penghematan.



*Trem* sendiri merupakan kereta yang memiliki rel khusus di dalam kota, dan moda transportasi umum. Salah satu keunggulan dari *trem* adalah ketepatan waktu. Sedangkan yang membedakan dengan *busway* adalah sering kali diterobos pengendara kendaraan pribadi maupun angkot, *trem* berjalan di lintasan khusus berupa rel. Sehingga, siapa pun yang nekad masuk ke jalur ini tentu kendaraannya tidak akan berjalan senyaman di aspal. Selain itu, *trem* yang direncanakan akan memiliki rute yang mencangkup rute utama perkotaan seperti pusat bisnis, tempat wisata dan perkantoran. *Trem* juga dapat mengangkut penumpang lebih banyak dibandingkan dengan BRT.

Oleh sebab itu, "Pengembangan *Trem* pada jalur Wisata Kota Lama- Lawangsewu" diharapkan dapat menjadi moda transportasi umum yang memadai di Kota Semarang juga mengurangi pemakaian kendaraan pribadi pada jarak dekat di pusat bisnis maupun perkantoran dan pariwisata serta mengurangi kemacetan. Metode pengembangan *Trem* dilakukan dengan 1).mengidentifikasi karakteristik jalur *trem* untuk menentukan *rute trem*, analisis *demand trem*; 4) Menganalisis potensi demand *trem* guna menentukan lokasi shelter yang tepat sepanjang jalur *Trem*; 5) Metode analisis BOK guna menentukan tarif *trem* jalur wisata *Heritage* Kota Lama-Lawangsewu.

## 2. **Kebaharuan Penelitian**

Kebaharuan dalam penelitian ini akan menghasilkan konsep Pengembangan *Trem* pada tempat2 wisata yang merupakan *Haritage* di kota-kota yang ada di Indonesia seperti pada studi kasus *heritage* di kota Semarang, dan tentunya pengembangan *trem* di kota2 wisata di Indonesia berbeda dengan pengembangan *trem* di kota lain bahkan di negara yang sudah berkembang, karena di Indonesia mempunyai prilaku dan karakteristik budaya yang berbeda. (Ismiyati.I, 2018; *Calthrope, 1993*).

## 3. **Dasar Penentuan Jalur Trem**

### 3.1. **Kondisi Eksisting Kota Lama - Lawangsewu**

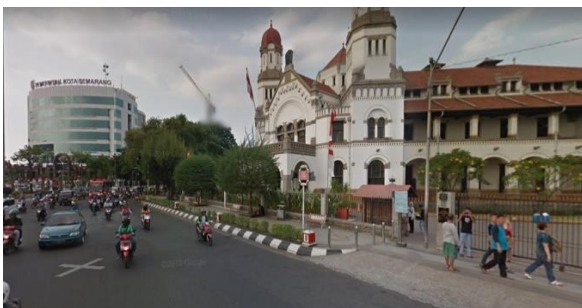
Kawasan Kota Lama Semarang (Kota Lama Semarang) memiliki nilai sejarah yang tinggi dengan banyaknya bangunan peninggalan zaman penjajahan Belanda. Beberapa bangunan cagar



budaya tersebut terdaftar sebagai bangunan cagar budaya menurut Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cagar Budaya. Kondisi Kota Lama Semarang saat ini semakin bagus dan layak menjadi salah satu atraksi wisata budaya, karena telah dibenahi dan dilakukan program revitalisasi oleh pemerintah Kota Semarang. Bangunan-bangunan yang berada disekitar Kota Lama adalah Gereja Blenduk, dibangun pada tahun 1894, berfungsi sebagai tempat peribadatan. Gereja Blenduk atau Koepelkerk tersebut sekarang masih ada dan diberi nama GPIB Immanuel, terletak di JL. Letjen Suprpto No. 32 sementara Lawang Sewu dulunya sebagai pusat utama perkantoran, pusat pelayanan pemerintahan Kota dan pusat kegiatan perdagangan dan jasa. Dan sekarang menjadi bangunan bersejarah sekaligus salah satu tempat wisata yang terkenal di Kota Semarang. Berikut adalah gambar Kota Lama dan Lawang Sewu.



(a)



(b)

*Sumber: Dokumentasi, 2021*

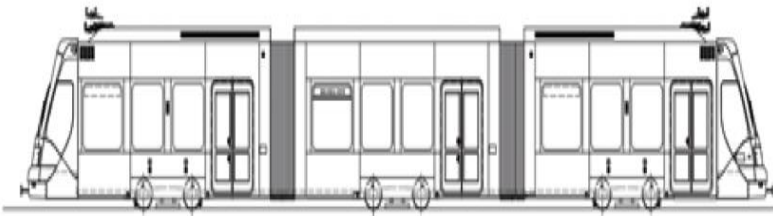
**Gambar 1. Foto Kegiatan Kota Lama (a) dan Lawang Sewu Kota Semarang (b)**



### 3.2. Pemilihan Trem

Terdapat 2 macam alternative trem yang dapat digunakan. Jika disesuaikan dengan kondisi geografis dan perencanaan yang dibuat, trem yang dipilih disarankan adalah Trem Siemens Avenio Trem Doha, Qatar. Pemilihan trem ini dibuat dengan mempertimbangkan kecepatan trem yang direncanakan adalah 40 km/jam dan sesuai dengan trem yang dibuat oleh Siemens yang digunakan di Doha. Selain itu, trem ini memiliki kapasitas untuk  $\pm 157$  orang dengan 3 gerbong dan dapat beroperasi dua arah.

Trem Doha menggunakan rel dengan lebar 1435 mm dan memiliki lebar 2550 mm. Jadi pada perencanaan ini direncanakan jalan yang akan digunakan akan dikurangi sekitar 2550 mm dari jalan eksisting untuk keperluan trem.



Sumber : <URL:<http://www.mobility.siemens.com>> (diakses pada tanggal 21 Februari 2020 22.59).

**Gambar 2. Potongan memanjang Trem**



Sumber : [www.mobility.siemens.com](http://www.mobility.siemens.com) (diakses pada tanggal 21 Februari 2020 22.59)

**Gambar 3. Tram Model I Siemens Avenio Trem Doha Qatar**

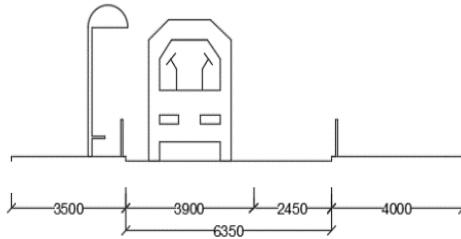


Lokasi perencanaan yang dipilih untuk trem adalah di Kota Semarang, Jawa Tengah, dengan rute pertama adalah Jl. Letjen Suprpto/Kota Lama Semarang - Jl. Pemuda - Jl. Pandanaran - Jl. A Yani - Jl. MT Haryono -Jl. Cenderawasih dan rute kedua adalah Kota Lama - Jl, Mayjend Sutoyo - Bank Agris – Jl. Cendrawasih 3 – Jl Letjen Suprpto. Pemilihan rute ini dikarenakan padatnya lalu lintas yang terjadi di ruas jalan tersebut dan adanya sektor wisata Kota Lama Semarang



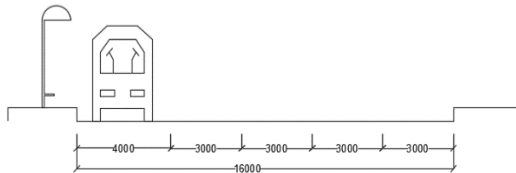
Sumber: BaPeGa TK II II, Kota Semarang, 2020 yang diolah, 2020

**Gambar 4. Rute Trem Kota Lama-Lawangsewu**



Sumber: Ismiyati, dkk, 2020

**Gambar 5. Potongan Melintang Rencana Geometrik Tram Pada Kota Lama**



Sumber: Ismiyati, dkk, 2020

**Gambar 6. Potongan Melintang Rencana Geometrik Tram Pada Lawangsewu**



### 3.3. Jajak Pendapat Masyarakat Kota Semarang

Survei wawancara didistribusikan pada responden disekitar ruas jalan yang nantinya akan direncanakan rute trem. Uji Validitas dan Reabilitas hasil survai diperoleh nilai Hasil survay rata – rata berasal dari luar Semarang, namun masih di daerah Pulau Jawa dengan persentase 51%, yang berasal dari Semarang sendiri 29%, luar Semarang tetapi masih Pulau Jawa 11%, dan yang berasal di luar Pulau Jawa sebesar 9 %. Sedangkan responden menuju kawasan Kota Lama ataupun Lawang Sewu lebih memilih menggunakan Sepeda Motor dengan jumlah 48%, mobil 40%, BRT 10% dan berjalan kaki sebesar 2% itu disebabkan karena fasilitas transportasi umum yang ada belum memenuhi harapan responden terutama waktu tempuhnya, sehingga mereka lebih memilih untuk menggunakan kendaraan pribadi, akan tetapi jika mengoptimalkan dan memaksimalkan pelayanan serta fasilitas transportasi umum maka tidak menutup kemungkinan bahwa masyarakat akan menggunakan transportasi umum.

Tujuan utama para responden berkunjung ke Kota Lama/Lawang Sewu adalah bermacam – macam tujuan dari liburan atau berekreasi dengan persentase 67%, lainnya 21%, dalam rangka dinas atau kerja 8% dan bisnis sebesar 4%. Sementara kalau dilihat dari jarak temputempat asal responden menuju Kota Lama/Semarang rata – rata > 60 km dengan persentase 40 %, < 1 km – 20 km sebesar 29 %, 20 km – 40 km sebesar 16 % dan 40km – 60 km sebesar 15 %. Hasil jajak pendapat juga terlihat, bahhwa responden lebih banyak menggunakan kendaraan pribadi dikarenakan jarak tempuh dan waktu tempuh yang menurut mereka harus terpenuhi. Harapannya dengan adanya moda transportasi yang memenuhi dari segi fasilitas, jarak dan waktu tempuh, serta jaminan keamanan, membuat masyarakat akan beralih menggunakan transportasi umum, salah satunya yaitu trem yang memiliki jalur khusus sendiri. Sehingga masyarakat dapat menghindari kemacetan dan mencapai tempat tujuan dengan cepat meskipun tanpa menggunakan kendaraan pribadi.



#### 4. Analisis Demand dan Analisis Shelter Trem

Analisis demand pada rute terpilih dengan tujuan untuk menentukan titik halte dan berapa kapasitas terangkut sehingga dengan mensimulasikan demand dari hasil jajak pendapat pada rute terpilih harapannya trem akan bisa mengakomodasi permintaan customer perjalanan wisata Heritage - Lawangsewu.

**Tabel 1. Perhitungan Bangkitan dan Demand**

Nama Jalan	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Pengguna Mobil Pribadi (jiwa)	Asumsi 1 mobil = 4 orang	Bangkitan (smp/hari/ rumah)	Prediksi Jumlah Bangkitan (smp/hari)	Prediksi Jumlah Bangkitan (smp/jam)	Setuju beralih ke Trem (smp/jam)	Setuju beralih ke Trem (jiwa)
		(A)	(A*40%=B)	(B/4=C)	(D)	(C*D = E)	(E/24 = F)	(F*72%=G)	(G*4=H)
Jl. Letjen Suprpto	Semarang Tengah	61,073	24,429	6107.3	3	18321.9	763.4125	549.657	2199
Jl. Pemuda	Semarang Tengah	61,073	24,429	6107.3	3	18321.9	763.4125	549.657	2199
Jl. Pandanaran	Semarang Selatan	69,375	27,750	6937.5	3	20812.5	867.1875	624.375	2498
Jl. Ahmad Yani	Semarang Selatan	69,375	27,750	6937.5	3	20812.5	867.1875	624.375	2498
Jl. M. T. Haryono	Semarang Timur	73,491	29,396	7349.1	3	22047.3	918.6375	661.419	2646
Jl. Cendrawasih	Semarang Tengah	61,073	24,429	6107.3	3	18321.9	763.4125	549.657	2199

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

#### 5. Analisis Demand dan Dampak Lalu Lintas dengan Adanya Trem

##### 5.1. Perubahan Kapasitas Jalan

Jalur Trem akan merubah geometri jalan disepanjang jalur yang terpilih dan jalan akan berkurang selebar 2,55 m untuk dijadikan jalur trem dan 1 m untuk dijadikan shelter pada titik tertentu. Hal itu menyebabkan berkurangnya kapasitas jalan eksisting. Berikut adalah tabel perhitungan kapasitas jalan yang baru setelah ada nya jalur trem.

**Tabel 2. Kapasitas Jalan Setelah ada Trem**

Ruas Jalan	Kapasitas Dasar (C <sub>0</sub> ) (smp/jam)	Faktor Penyesuaian				Kapasitas (C) (smp/jam)
		Lebar Jalur (FC <sub>w</sub> )	Pemisah arah (FC <sub>sp</sub> )	Hambatan samping (FC <sub>sr</sub> )	Ukuran kota (FC <sub>cs</sub> )	
Jl. Pemuda	4950	0.96	1	0.78	1	3706.56
Jl. Pandanaran	4500	1	0.955	0.98	1	4211.55
Jl. A. Yani	4500	1.05	0.985	0.91	1	4235.254
Jl. MT. Haryono	4950	1	1	0.95	1	4702.5
Jl. Cendrawasih	1650	0.96	1	0.92	1	1457.28

Sumber: Analisis Peneliti, 2020



## 5.2. Simulasi Beban Lalu Lintas Setelah Ada Trem

Simulasi dilakukan untuk mengetahui dampak lalu lintas trem terhadap jalan – jalan yang direncanakan. Simulasi dilakukan dalam kondisi pengguna jalan yang akan beralih dari kendaraan pribadi menjadi menggunakan trem adalah sebesar 50%, 60% 70%, 72%, dan 75% dari volume awal. Berikut adalah tabel simulasi yang dilakukan pada kondisi tersebut.

**Tabel 3. Simulasi Dengan Asumsi Lalu lintas Beralih 50% ke Trem**

Nama Jalan	Kapasitas Eksisting	Volume Eksisting	DS Eksisting	Simulasi 50% beralih	Kapasitas Setelah Ada Trem	DS setelah ada trem
Jl. Letjen Suprpto	2216.28	1043	0.47	0	0.00	0.00
Jl. Pemuda	5559.84	2947.20	0.53	1473.6	3706.56	0.40
Jl. Pandanaran	5615.40	4068.00	0.72	2034	4211.55	0.48
Jl. Ahmad Yani	5378.10	3117.6	0.58	1558.8	4235.25	0.37
Jl. M. T. Haryono	6270.00	5651.7	0.90	2825.85	4702.50	0.60
Jl. Cendrawasih	2321.16	124	0.05	62	1457.28	0.04

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

**Tabel 4. Simulasi dengan Asumsi lalu lintas Beralih 60% ke Trem**

Nama Jalan	Kapasitas Eksisting	Volume Eksisting	DS Eksisting	Simulasi 60% beralih	Kapasitas Setelah Ada Trem	DS setelah ada trem
Jl. Letjen Suprpto	2216.28	1043	0.47	0	0.00	0.00
Jl. Pemuda	5559.84	2947.20	0.53	1178.88	3706.56	0.32
Jl. Pandanaran	5615.40	4068.00	0.72	1627.2	4211.55	0.39
Jl. Ahmad Yani	5378.10	3117.6	0.58	1247.04	4235.25	0.29
Jl. M. T. Haryono	6270.00	5651.7	0.90	2260.68	4702.50	0.48
Jl. Cendrawasih	2321.16	124	0.05	49.6	1457.28	0.03

Sumber: Analisis Peneliti, 2020



**Tabel 5. Simulasi dengan Asumsi Lalu lintas Beralih 70% ke Trem**

Nama Jalan	Kapasitas Eksisting	Volume Eksisting	DS Eksisting	Simulasi 70% beralih	Kapasitas Setelah Ada Trem	DS setelah ada trem
Jl. Letjen Suprpto	2216.28	1043	0.47	0	0.00	0.00
Jl. Pemuda	5559.84	2947.20	0.53	1178.88	3706.56	0.32
Jl. Pandanaran	5615.40	4068.00	0.72	1627.2	4211.55	0.39
Jl. Ahmad Yani	5378.10	3117.6	0.58	1247.04	4235.25	0.29
Jl. M. T. Haryono	6270.00	5651.7	0.90	2260.68	4702.50	0.48
Jl. Cendrawasih	2321.16	124	0.05	49.6	1457.28	0.03

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

**Tabel 6. Simulasi dengan Asumsi Lalu-lintas Beralih 72% ke Trem**

Nama Jalan	Kapasitas Eksisting	Volume Eksisting	DS Eksisting	Simulasi 72% beralih	Kapasitas Setelah Ada Trem	DS setelah ada trem
Jl. Letjen Suprpto	2216.28	1043	0.47	0	0.00	0.00
Jl. Pemuda	5559.84	2947.20	0.53	825.216	3706.56	0.22
Jl. Pandanaran	5615.40	4068.00	0.72	1139.04	4211.55	0.27
Jl. Ahmad Yani	5378.10	3117.6	0.58	872.928	4235.25	0.21
Jl. M. T. Haryono	6270.00	5651.7	0.90	1582.476	4702.50	0.34
Jl. Cendrawasih	2321.16	124	0.05	34.72	1457.28	0.02

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

**Tabel 7. Simulasi Beralih 75% ke Trem**

Nama Jalan	Kapasitas Eksisting	Volume Eksisting	DS Eksisting	Simulasi 75% beralih	Kapasitas Setelah Ada Trem	DS setelah ada trem
Jl. Letjen Suprpto	2216.28	1043	0.47	0	0.00	0.00
Jl. Pemuda	5559.84	2947.20	0.53	736.8	3706.56	0.20
Jl. Pandanaran	5615.40	4068.00	0.72	1017	4211.55	0.24
Jl. Ahmad Yani	5378.10	3117.6	0.58	779.4	4235.25	0.18
Jl. M. T. Haryono	6270.00	5651.7	0.90	1412.925	4702.50	0.30
Jl. Cendrawasih	2321.16	124	0.05	31	1457.28	0.02

Sumber: Analisis Peneliti, 2020



### 5.3. Analisis Derajat Kejenuhan Jalan

Berikut merupakan contoh perhitungan dari derajat kejenuhan jalan (DS) dengan mengambil sampel pada Jalan Letjen Suprpto:

Jalan Letjen Suprpto (2/1 UD)

$$C = 2216,28 \text{ smp/jam}$$

$$Q = 1043 \text{ smp/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } DS &= Q / C \\ &= 1043 / 2216,28 \\ &= 0,47 \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel derajat kejenuhan ruas jalan secara keseluruhan:

**Tabel 8. Derajat Kejenuhan Jalan**

Ruas Jalan	Volume (Q) (smp/jam)	Kapasitas (C) (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DS)
Jl. Letjen Suprpto	1043	2216.28	0,47
Jl. Pemuda	2947.2	5559.84	0.71
Jl. Pandanaran	4068.00	5615.40	0,72
Jl. A. Yani	3117.6	5378.10	0.58
Jl. MT. Haryono	5651.7	6270.00	0.90
Jl. Cendrawasih	124	2321.16	0.05

*Sumber: Analisis Peneliti, 2020*

### 5.4. Analisis Kapasitas Derajat Kejenuhan per Arah pada Jalan Pandanaran dan Jalan Ahmad Yani

Perhitungan kapasitas dan derajat kejenuhan per arah memiliki cara yang sama dengan perhitungan untuk dua arah. Berikut adalah tabel kapasitas dan derajat kejenuhan per arah pada Jalan Pandanaran dan Jalan Ahmad Yani.



**Tabel 9. Kapasitas Jalan Per Arah Jalan Pandanaran dan Jalan Ahmad Yani**

Ruas Jalan	Arah	Kapasitas Dasar (C <sub>0</sub> ) (smp/jam)	Faktor Penyesuaian			Kapasitas (C) (smp/jam)
			Lebar Jalur (FC <sub>w</sub> )	Hambatan samping (FC <sub>sf</sub> )	Ukuran kota (FC <sub>cs</sub> )	
Jl. Pandanaran	Simpang Lima	3300	1	0.95	1	3135
	Tugu Muda	3300	1	0.95	1	3135
Jl. A. Yani	M. T. Haryono	3300	1	0.86	1	2838
	Simpang Lima	3300	1	0.86	1	2838

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

**Tabel 10. Derajat Kejenuhan Per Arah Jalan Pandanaran dan Jalan Ahmad Yani**

Ruas Jalan	Arah	Volume (Q) (smp/jam)	Kapasitas (C) (smp/jam)	Derajat Kejenuhan (DS)
Jl. Pandanaran	Simpang Lima	2486.7	3135	0.79
	Tugu Muda	1581.3	3135	0.50
Jl. A. Yani	M. T. Haryono	1617.6	2838	0.57
	Simpang Lima	1500	2838	0.53

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

### 5.5. Analisis Kecepatan Arus Bebas

Berikut merupakan contoh perhitungan dari kecepatan arus bebas dengan mengambil sampel pada Jalan Letjen Suprpto:

Jalan Letjen Suprpto (2/1 UD)

$$FV_0 = 57 \text{ km/jam}$$

$$FV_w = - 4 \text{ km/jam}$$

$$FFV_{SF} = 0,73$$

$$FFV_{CS} = 1 \text{ (Jumlah Penduduk 1 - 3 Juta Jiwa)}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } FV &= (FV_0 + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS} \\ &= (57 - 4) \times 0.73 \times 1 \\ &= 38,69 \text{ km/jam} \end{aligned}$$



Berikut merupakan tabel kecepatan arus bebas ruas jalan secara keseluruhan:

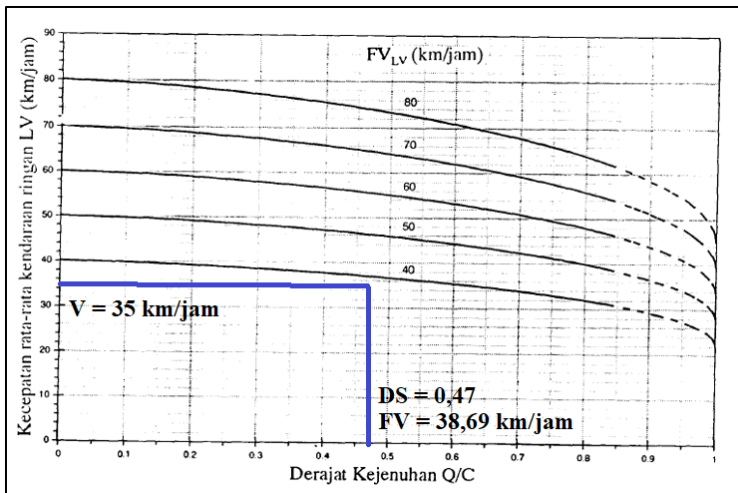
**Tabel 11. Kecepatan Arus Bebas Ruas Jalan**

Ruas Jalan	Kecepatan arus bebas dasar ( $FV_0$ ) (km/jam)	Faktor penyesuaian lebar jalur ( $FV_w$ ) (km/jam)	Faktor Penyesuaian		Kecepatan Arus bebas ( $FV$ ) (km/jam)
			Hambatan samping ( $FFV_{SF}$ )	Ukuran kota ( $FFV_{CS}$ )	
Jl. Letjen Suprpto	57	-4	0.73	1	38.69
Jl. Pemuda	61	4	0.78	1	50,70
Jl. Pandanaran	53	0	0.98	1	51.94
Jl. A. Yani	53	0	0.91	1	48.23
Jl. MT. Haryono	61	0	0.95	1	57.95
Jl. Cendrawasih	44	-3	0.96	1	39.36

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

### 5.6. Analisis Kecepatan dan Waktu Tempuh

Perhitungan kecepatan penyesuaian dilakukan menggunakan grafik dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997) dengan memasukkan angka derajat kejenuhan dan kecepatan arus bebas yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut merupakan grafik yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan dengan mengambil sampel pada Jalan Letjen Suprpto:



**Gambar 6. Grafik Kecepatan Penyesuaian Jalan Letjen Suprpto**



Berdasarkan **grafik 6** di atas, diketahui bahwa kecepatan rata-rata kendaraan ringan (V) pada Jl. Letjen Suprpto adalah 35 km/jam. Untuk waktu tempuh (TT) dihitung dengan membagi antara jarak dengan kecepatan yang telah didapatkan.

Berikut merupakan contoh perhitungan dari waktu tempuh dengan mengambil sampel pada Jalan Letjen Suprpto:

- Jalan Letjen Suprpto

$$L = 0,55 \text{ km}$$

$$V = 35 \text{ km/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, TT} &= L / V \\ &= 0,55 \text{ km} / 35 \text{ km/jam} \\ &= 0,015 \text{ jam} \\ &= 0,94 \text{ menit} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel kecepatan penyesuaian dan waktu tempuh secara keseluruhan:

**Tabel 12. Kecepatan Arus Bebas Ruas Jalan**

Ruas Jalan	Derajat Kejenuhan (DS)	Kecepatan Arus bebas (FV) (km/jam)	Kecepatan Penyesuaian (V) (km/jam)	Panjang Jalan (L)	Waktu Tempuh (TT) (menit)
Jl. Letjen Suprpto	0.47	38.69	35	0.55	0.94
Jl. Pemuda	0.71	50,70	42	2.37	3.39
Jl. Pandanaran	0,72	51.94	30	1.70	3.40
Jl. A. Yani	0.58	48.23	38	1.20	1.89
Jl. MT. Haryono	0.90	57.95	42	2.90	4.14
Jl. Cendrawasih	0.05	39.36	38	0.19	0.3

Sumber: *Ismiyati, dkk, 2020*

Tabel 12 memperlihatkan rute trem yang terpilih dengan kinerja jalan hasil simulasi setelah adanya trem dijalur trem Kota Lama -Lawang Sewu.

### 5.7. Analisis Waktu Tempuh dan Jumlah Trem

Rute trem memiliki jarak total sejauh 8,9 km. Rute trem ini direncanakan memiliki 6 shelter. Di sepanjang rute trem, terdapat 14 simpang, tetapi dari keempat belas simpang tersebut hanya 9 ada lampu merah yang harus dilewati. Dua dari 9 lampu merah itu diperbolehkan tidak berhenti karena rute trem tersebut belok ke kiri, sehingga total lampu merah yang harus berhenti hanya 7.



Trem berjalan dengan kecepatan 40 km/jam. Dengan asumsi setiap shelter trem akan berhenti selama 3 menit dan durasi lampu merah yang harus berhenti adalah 2 menit. Maka waktu yang diperlukan trem untuk melewati 1 siklus adalah sebagai berikut.

Waktu 1 siklus = (Jarak total / Kecepatan x 60 menit) + (7 Lampu merah x 2 menit) + (6 Shelter x 3 menit) = (8,9 km / 40 km/jam x 60 menit) + (7 x 2 menit) + (6 x 3 menit) = 45,35 menit.

Jadi waktu tempuh yang diperlukan trem untuk melewati 1 siklus adalah **46** menit.

### 5.8. Analisis BOK Trem

Tarif Trem ditentukan dengan dasar analisis *demand* serta analisa waktu dari hasil analisa waktu, maka akan dihasilkan BOK sebagai berikut:

**Tabel 13. Rekapitulasi Biaya Operasi Kendaraan Trem**

No	Uraian	Biaya /jam	Keterangan
1	<b>Biaya Modal</b>		
	Biaya Kereta dengan Penyusutan Sarana per Lintas @Rp. 3.000.000.000,00/set	Rp. 37.621,52	1 Set trem = 3 gerbong ; Harga trem Rp. 3.000.000.000,00/set; Nilai sisa = 1,5% Pajak + Bunga = 110%
	Biaya Infrastruktur	Rp. 1.689.351,85	
	Biaya Pemeliharaan Infrastruktur	Rp. 1.545.138,89	
	Total (A)	Rp. 3.272.112,26	
2	<b>Biaya Operasi</b>		
	Asuransi Pegawai	Rp. 7.070,31	
	Biaya Langsung Tidak Tetap		
	Biaya Bahan Bakar Per lintas (2x4x120 kWh)	Rp. 1.408.588,8	Trem beroperasi selama 16 jam/hari Volume = 2 x 4 x 120 x 16 x 2
	Biaya Cuci Per Lintas (5 org)	Rp. 28.281,25	UMR 2020 Kota Semarang Rp. 2.715.000,00
	Biaya OTC Per Lintas (4org)	Rp. 22.625	UMR 2020 Kota Semarang Rp. 2.715.000,00
	Biaya Pelumas	Rp. 11.704,12	
	Biaya Tidak Langsung Tetap		
	Biaya Umum Kantor	Rp. 31.250,00	
	Pelayanan Penumpang di Stasiun	Rp. 18.750,00	
	Biaya Tidak Langsung Tidak Tetap		
	Biaya Pemasaran Per Lintas	Rp. 7.292,00	
	Biaya Penelitian dan Pengembangan Per Lintas	Rp. 17.361,00	
	Biaya Pengembangan SDM Per Lintas	Rp. 8.681,00	
	Total (B)	Rp. 1.680.384,71	
	Jumlah A+B = Total Biaya Pokok	Rp. 4.952.496,96	
3	<b>Keuntungan (10% Total Biaya Pokok)</b>	<b>Rp. 495.249,69</b>	
	<b>Total BOK</b>	<b>Rp. 5.447.746,65</b>	

### Tarif Berdasarkan BOK

Diketahui bahwa total perkiraan BOK trem di Kota Semarang dalam satu jam operasi trem adalah Rp. 5.447.746,65. Dalam 1 jam, trem dapat beroperasi sebanyak ± 6 kali. Dengan estimasi jumlah penumpang yang dapat dimuat trem keseluruhan sebanyak 157 orang/trem dan load factor 0,8 maka tarif trem di Kota Semarang dihitung :



Tarif Per Lintas = Rp 5.447.746,65/157 x 0.8 x 6  
= Rp. 7.228,96 per orang  
Tarif Per Km = Rp 7.228,96/8,9  
= Rp. 812,24 ~ 1.000 per orang

Jadi, tarif yang harus dibayar sebesar Rp. 1.000,00 /km/orang.

## 6. Kesimpulan

- 1) Trem memiliki rute sepanjang 8,9 km dan dimulai dari Jl. Letjen Suprpto – Jl. Pemuda – Jl. Pandanaran – Jl. Ahmad Yani – Jl. M. T. Haryono – Jl. Cendrawasih – Jl. Letjen Suprpto. Memiliki 6 shelter, dimana terdapat 2 shelter di Jl. Pemuda dan masing-masing 1 shelter pada Jl. Letjen Suprpto, Jl. Pandanaran, Jl. Ahmad Yani, dan Jl. M. T. Haryono.
- 2) Berdasarkan hasil survey di Kota Lama dan Lawang Sewu diketahui bahwa jumlah masyarakat yang akan beralih menggunakan trem adalah sebanyak 72%. Hal ini menunjukkan tingginya demand untuk trem beroperasi. Trem memiliki kapasitas sebanyak 157 orang dengan 1 set trem terdiri dari 3 gerbong. Kecepatan maksimal trem adalah 40 km/jam.
- 3) Trem beroperasi dari pukul 6 pagi hingga 10 malam. Satu siklus trem adalah 26 menit dengan waktu headway 10 menit. Dalam 1 jam akan terdapat 6 trem yang melintas. Trem yang diperlukan sebanyak 3 buah dengan 2 buah trem yang beroperasi dan 1 trem cadangan.
- 4) Trem mengakibatkan derajat kejenuhan jalan menjadi meningkat, disebabkan jumlah penumpang yang dapat ditampung trem hanya 753 orang/jam atau 188,4 smp/jam, lebar jalan berkurang ± 3,9 m untuk jalur trem.
- 5) Biaya operasional trem adalah Rp. 5.447.746,65 /jam, tarif Rp. 1000,00 /km /orang.

## 7. Saran

Derajat kejenuhan yang meningkat akibat adanya trem dapat dikurangi dengan menambah kapasitas trem, memperpanjang jalur trem, dan menambah jumlah trem yang beroperasi.



Shelter trem dapat ditambah pada titik tertentu yang memiliki bangkitan yang tinggi. Untuk menarik minat masyarakat dalam penggunaan trem yang memadai dapat dilakukan evaluasi secara rutin mengenai hal-hal yang harus dibenahi baik dari segi fasilitas, ketepatan waktu dan tarif.

Untuk pedestrian dengan lebar yang kurang dari lebar minimum, ada baiknya di perlebar, memberikan fasilitas yang memadai agar pejalan kaki di sekitar pedestrian ramai masyarakat yang berjalan di sekitar akan tertarik untuk menggunakan angkutan trem.

## Referensi

- Ismiyati. 2019. Secondary City and TOD Concept in the Light Rail Transit (LRT) Development to the Sustainable Transportation . Journal of Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Prof. Soedharto Street, Tembalang, Semarang, Indonesia 50239.
- Ismiyati.I, 2020 , “ Pengembangan Trem Pada Jalur Wisata *Haritage* Kota Lama-Lawangsewu Di Kota Semarang Menuuju Transportasi Yang Ramah Lingkungan.” Laporan Penelitian Strategis RKAT Fakultas Teknik Undip th 2020 (Tidak Dipublikasikan).
- Debrezion Ghebreegziabiher, Pels Eric and Rietveld Piet. 2007. The Impact of Railway Stations on Residential and Commercial Property Value: A Meta-analysis. Journal of Free University Amsterdam, Department of Spatial Economics, De Boelelaan 1105, 1081 HVAmsterdam, The Netherlands.
- Lyu Guowei, Bertolini Luca, Pfeffer Karin. 2019. How does transit-oriented development contribute to station area accessibility? A study in Beijing. Beijing. International Journal of Sustainable Transportation.
- Budiarto Arif. 2018. The sustainability of public transport operation based on financial point of view. Civil Engineering Department, University of Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.



- Dana Jeffreya. Claire Boulangéb. B. S. L. 2019. *Using walkability measures to identify train stations with the potentia to becom transit oriented developments* located in walkable neighbourhoods. *Journal of Transport Geography*.
- Transit Oriented Development, 2004 : *Calgary City Council has endorsed Advancing Smart Growth as a key priority in its 2002-2004 mandate*.
- Bahanan. Salim Affan Abudllah. 2016. *Jurnal "Perencanaan Rute Trem Surabaya Timur (Kecamatan Sukolilo, Mulyorejo, Gubeng) Dengan Surabaya Pusat (New CBD)"*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Purba. 2019. *Siap – siap, Sebentar Lagi Semarang Akan Miliki Trem*, diakses dari <URL : <https://regional.kompas.com/read/2019/10/15/11485821/siap-siap-sebentar-lagi-semarang-akan-miliki-trem>> pada tanggal 10 November 2019.
- Mughni. 2018. "PERENCANAAN REAKTIVASI JALAN REL KERETA API RUTE YOGYAKARTA –PARANGTRITIS( REACTIVATION PLANNING OF ROAD RAILTRAINROUTE YOGYAKARTA - PARANGTRITIS)". Yogyakarta : Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia.
- Kementrian Agraria Dan Tata Ruang/ Badan Pertanahan Nasional. 2019. *Konsep Transit Oriented Development (TOD) dalam Pembangunan Wilayah Perkotaan*. Jakarta.
- Prima. 2015. *Blusukan Jalur Sepur*, diakses dari <URL :<http://blusukanjalurmati.blogspot.com/2015/09/tram-semarang.html>> pada tanggal 10 November 2019.
- Prasetyo, E. 2015. *ANALISIS TRANSFER ANTAR MODADALAM RANGKA RENCANA PENGOPERASIAN TREM DAN MONORAIL DI TERMINAL JOYOBOYO SURABAYA*, Surabaya : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Departemen Perhubungan. 2001. *PANDUAN PENGUMPULAN DATAANGKUTAN UMUM PERKOTAAN*. Jakarta : Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.



- Ningsih, D, H, U. 2010. Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume XV. Semarang: Fakultas Teknologi Informasi Universitas Stikubank Semarang.
- Abubakar, Iskandar dkk. 1996. Manajemen Transportasi Perkotaan. Sarasehan MTI. Desember 1996.
- Ardiansyah, A. 2015. Penentuan Lokasi dan Jumlah Halte Trem di Surabaya dengan Model Set Recovery Problem. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Departemen Perhubungan. 1996. Pedoman Teknis Perencanaan Tempat Perhentian Kendaraan Penumpang Umum. Jakarta : Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1990. No.015/T/BNKT/1990 tentang Tata Cara Perencanaan Penghentian Bus. Badan penerbit DPU. Jakarta
- Giannopoulos, G, A. 1989. Bus Planning And Operation In Urban Areas : A Practical Guide. Avebury.
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2014. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia:Kapasitas Jalan Perkotaan. Bandung.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2014. Pedoman Perencanaan, Penyediaan, dan Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki di Kawasan Perkotaan. Jakarta : Menteri Pekerjaan Umum.
- Morlok, Edward K. 1995. Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi. Jakarta.
- Pemerintah Indonesia. 1992. Undang-undang Nomor 14 Tahun 1992 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Ratnawati, Y. (2015). Perkembangan perkeretaapian pada masa kolonial di semarang tahun 1867-1901 skripsi. Semarang : Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Semarang.
- Santoso, Idwan. 1996. Perencanaan Prasarana Angkutan Umum Seri 002. Bandung : Pusat Studi Transportasi dan Komunikasi Institut Teknologi Bandung.



- Setijowarno, Djoko dkk. 2003. Analisa Pengaruh Kinerja dan Pelayanan Sub Terminal Mangkang-Semarang. Simposium VI FSTPT, Universitas Hasanudin Makasar.
- Siemens AG.2014. Avenio Tram – The Hague, Netherlands. Germany <URL:<http://www.mobility.siemens.com>> (diakses pada tanggal 21 Februari 2020 22.59).
- Suprayitno, Hitapriya. 2015. Materi kuliah: Transportasi Massa
- Tahir, Anas. 2011. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi. Palu:Fakultas Teknik Universitas Tadulako
- Tamin, O.Z. 1997. Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Bandung : Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
- Tamin, O.Z. 2008. Perencanaan dan Permodelan Transportasi. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Vuchic, Vukan R. 1981. Urban Public Transportation System and Technology. Pennsylvania : University of Pennsylvania.
- Lazuardi, Prasetya. 2019. Analisis Kebutuhan Fasilitas Penyeberangan Orang (Studi Kasus : Jalan Pandanaran, Jalan MT Haryono dan Jalan Teuku Umar, Semarang), Semarang : Universitas Katolik Soegijapranata.
- Siswanto Joko. 2014. Jurnal ANALISIS PERILAKU PENGGUNA ANGKUTAN UMUM TRANSPORTASI ANTARMODA. Semarang : Teknik Sipil Universitas Diponegoro.



## PROFIL PENULIS



### **Dr. Ir. Ismiyati, M.S.**

Penulis lahir di Semarang pada 7 Nopember 1959, bekerja sebagai dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang sejak 1987 hingga sekarang. Penulis selain bekerja sebagai dosen juga sebagai konsultan Perencanaan Transportasi dan mengerjakan beberapa proyek penelitian di bidang sipil transportasi dan melakukan beberapa pengabdian masyarakat dalam penunjang Tri Darma Perguruan Tinggi dibidang Sipil Transportasi.

Penulis lulus S1 pada tahun 1985 dari Teknik Sipil Undip, pada th 1992 lulus S2 dari Magister Manajemen Transportasi Pasca Sarjana ITB, dan pada th 2011 lulus S3 dari Program Doktor Teknik Arsitektur dan Perkotaan Universitas Diponegoro. Penulis membuat beberapa buku ajar Statistika dan Probabilitas untuk Teknik Bagi Peneliti Pemula 2011, Modul Buku Ajar Perencanaan Pelabuhan Udara untuk Kalangan sendiri, Buku Monograf dibidang transportasi yang mempunyai HAKI th 2021.

Beberapa Penghargaan telah diraih yaitu Penghargaan Lencana Satya 20 tahun dan Penghargaan Lencana Satya 30 tahun dari Bapak Presiden. Pernah Menjabat sebagai sekretaris Kelompok transportasi pada th 2004-2012 dan Ketua Kelompok Transportasi th 2012-2013 serta sekretaris laboratorium Komputasi th 2013-2016. Menjabat pada organisasi profesi Bendahara 1 MTI-Jateng 2005-2011 dan sekretaris 2 MTI jateng 2017-sampai sekarang.

Penulis berharap dengan terbitnya buku Chapter ini akan membawa manfaat bagi masyarakat, mahasiswa dan perencana transportasi perkotaan dalam memberikan solusi permasalahan transportasi perkotaan di negara sedang berkembang, terutama pada permasalahan kemacetan pada wisata *Heritage* yang ada dikota kota lain di Indonesia. Terimakasih pada team yang membantu terbitnya buku ini dan Fakultas Teknik Undip dalam pendanaannya.





### **Ir. Epf. Eko Yulipriyono, M.S.**

Eko Yuli lahir di Yogyakarta pada 15 Juli 1958, bekerja sebagai dosen Universitas Diponegoro sejak tahun 1986 hingga sekarang. Selain bekerja sebagai dosen juga sebagai kontraktor dibidang keahlian transportasi serta banyak membantu dalam pengembangan pembangunan di lingkungan undip. Penulis juga mengerjakan beberapa projek penelitian di bidang sipil transportasi dan melakukan beberapa pengabdian masyarakat dalam penunjang Tri Darma Perguruan Tinggi dibidang Sipil Transportasi.

Penulis lulus S1 pada tahun 1985 dari Teknik Sipil Undip, pada th 1992 lulus S2 dari Paska Sarjana Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB Beberapa Penghargaan telah diraih yaitu Penghargaan Lencana Satya 20 tahun dan Penghargaan Lencana Satya 30 tahun dari Bapak Presiden. Penulis juga pernah menjabat sebagai ketua Laboratorium Geodesi pada tahun 2013-2016. Penulis berharap dengan terbitnya buku Chapter ini akan membawa manfaat bagi masyarakat, mahasiswa dan perencana transportasi dan perkotaan dalam memberikan solusi permasalahan transportasi perkotaan di negara sedang berkembang. Terimakasih pada team yang membantu terbitnya buku ini dan Fakultas Teknik Undip dalam pendanaannya.



### **Maghfira Saskia Putri Tolat**

Maghfira Saskia Putri Tolat lahir di Jayapura pada 3 Februari 1998, menjadi mahasiswa Teknik Sipil Undip tahun 2015 dan telah lulus dari Teknik Sipil Undip pada th 2021. Selama menadi mahasiswa Teknik Sipil Undip banyak kegiatan yang dilakukan diantaranya. Kepanitiaan Pensi SMA (2014) Himpunan Mahasiswa Sipil (2016) bidang Internal, Kepanitiaan Steril (2017) bagian konsumsi. Penulis berharap dengan terbitnya buku Chapter ini akan banyak manfaatnya bagi mahasiswa dalam menyelesaikan tugas akhir dan bermanfaat bagi para perencana transportasi perkotaan dalam menangani kemacetan pada wisata **Heritage** dikota kota lain di Indonesia.





### **Fairuz Adibah**

Fairuz Adibah lahir di Pontianak pada 30 November 1998, menjadi mahasiswa Teknik Sipil Undip pada tahun 2015 dan telah lulus tahun 2021. Banyak kegiatan yang dilakukan selama studi diantaranya dalam kepanitiaan BPPS Undip bidang akademik th 2015, kepanitiaan Ekspo KKN Kecamatan Dukuhsti th 2019 bagian PDD.





ISBN 978-623-88383-4-9



9 786238 838349