

Vol. 6 Edisi April 2025

ISSN 2746-1653 (Media Cetak)

BULETIN
BINA MARGA
BERKARYA

Bineka

"Pengaruh Ring Pengunci Baji Bergerigi (Washer) Terhadap Kinerja Sambungan Baut Pada Jembatan"

"Menuju Ekonomi Sirkular Dengan Pemanfaatan Limbah Batubara Pada Konstruksi Jalan dan Jembatan"

"Analisis Multikriteria Dalam Pemilihan Penyedia Jasa Dengan Metode E-Katalog"

"Jalur Jalan Lintas Selatan Jawa Tengah Dan D.I. Yogyakarta: Infrastruktur Baru, Manfaat Baru"



9 772746 165003

PINDAI SAYA





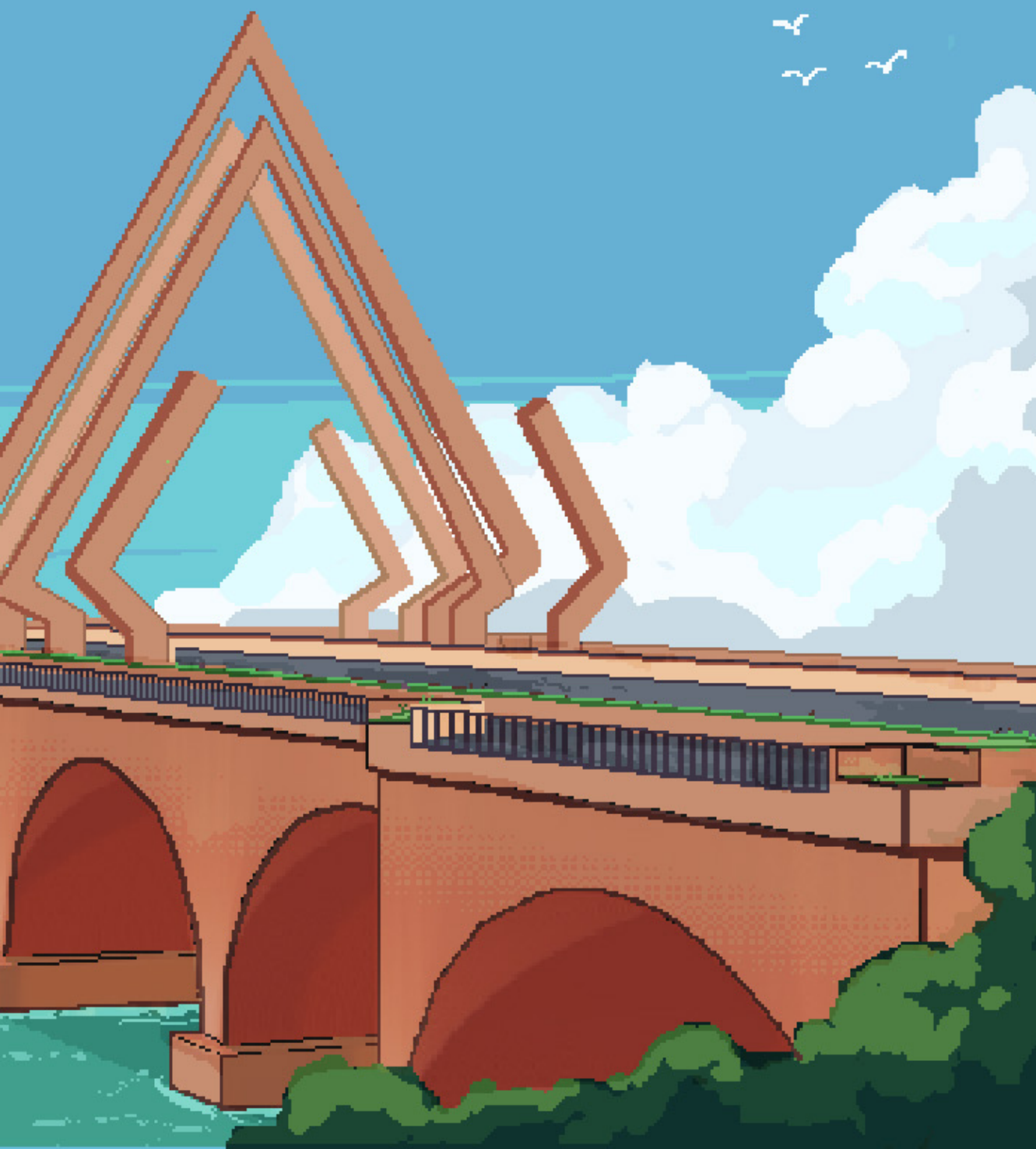
KEMENTERIAN
PEKERJAAN UMUM

Bineka



BULETIN BINEKA

Volume 6 Edisi 1 April 2025







TIM PENYUSUN

Pelindung

Direktur Jenderal Bina Marga

Penanggungjawab

Ir. Yudha Handita Pandjiriawan, M.T., M.B.A.

Redaktur

Firman Permana Wandani, S.T., M.P.P.

Yohanes Ronny P.A, S.T., M.T.

Panji Krisna Wardana, S.T., M.T.

Neni Kusnianti, S.T., M.T.

Ali Rachmadi, S.T., M.T.

Dian Asri Moelyani, S.T., M.Sc.

Hendro Sujatmiko, S.T., M.T.

Dr. Drs.Madi Hermadi, M.M.

Redrik Irawan, S.T., M.T.

Ir.Widi Nugraha, S.T., M.T

Penyunting

Ani Mulyani, S.Sos., M.Ak

Risma Hermawati, S.T.

Sekretariat

Uman Sumantri, S.S.I.

Yadi Rusyadi, S.Sos

Desain Grafis

Iwan Pirdaus, S.AP.

Rulli Nurjaya

Fotografer

Aditya Abdurachman

Yogi Sutana, S.Kom.

Diterbitkan Oleh
Direktorat Bina Teknik Jalan
dan Jembatan

Alamat Redaksi
Jl. A.H Nasution No. 264
Kota Bandung 40294

Email:
perpustakaan.jatan@pu.go.id

SALAM REDAKSI

Pada terbitan Buletin BINEKA Vol. 6 Edisi April 2025, kami memilih artikel yang berjudul pengaruh ring pengunci baji bergerigi (*washer*) terhadap kinerja sambungan baut pada jembatan sebagai tajuk utama. Ring pengunci baji bergerigi (*washer*) merupakan salah satu bentuk teknologi yang digunakan untuk mencegah terjadinya kekenduran pada baut akibat frekuensi getaran jembatan dan mencegah baut hilang.

Selain itu rubrik pilihan pada edisi ini terdapat 4 artikel pilihan, artikel ke satu membahas mengenai *policy paper* strategi pada sektor penyelenggaraan jalan untuk mengatasi kemacetan metropolitan sarbagita, artikel kedua tentang menuju ekonomi sirkular dengan pemanfaatan limbah batubara pada konstruksi jalan dan jembatan, artikel pilihan ketiga mengenai analisis multikriteria dalam pemilihan penyedia jasa dengan metode e-katalog, untuk artikel pilihan keempat tentang konstruksi ramah lingkungan dan berkelanjutan pada draft spesifikasi umum Bina Marga 2023. Rubrik tokoh pada edisi ini menceritakan tentang Dr. Nyoman Suaryana perjalanan seorang insinyur infrastruktur dari laboratorium ke kebijakan. Serta rubrik laporan proyek tentang jalur jalan lintas selatan Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta: infrastruktur baru, manfaat baru dan rubrik Binekapedia yang menginformasikan tentang alat pengukur kekuatan beton.

Akan tetapi tentunya buletin edisi kali ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Salam Hormat

Redaksi

DAFTAR ISI

TAJUK UTAMA

- “Sambungan Baut Jembatan Lebih Tangguh Berkat *Washer* Bergerigi” 08
Oleh : N. Retno Setiati
Balai Geoteknik Terowongan dan Struktur

NASKAH PILIHAN

- “Policy Paper: Strategi Pada Sektor Penyelenggaraan Jalan untuk Mengatasi Kemacetan Metropolitan Sarbagita” 18
Oleh : Rinaningtyas Anggriani Putri
Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan,
Direktorat Jenderal Bina Marga

- “Menuju Ekonomi Sirkular Dengan Pemanfaatan Limbah Batubara Pada Konstruksi Jalan dan Jembatan” 28
Oleh : Ali Zakariya
Direktorat Pembangunan Jembatan.

- “Analisis Multikriteria Dalam Pemilihan Penyedia Jasa Dengan Metode E-Katalog” 42
Oleh : Iwan Susanto; Al Mufqy Zuliardy
Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Sulteng, Dirjen Bina Marga

ARTIKEL TOKOH

- “Dr. Nyoman Suaryana: Dari Laboratorium ke Kebijakan Perjalanan Seorang Insinyur Jalan” 54
Oleh : Alfa Adib Ash Shiddiqi
Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Riau, Direktorat Jenderal Bina Marga

NASKAH PILIHAN

- “Konstruksi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan pada Draft Spesifikasi Umum Bina Marga 2023” 62
Oleh : Setyo Hardono, ST. MT, Anne Savitri
Pusbangkom JPW, BPJN Suluwesi Utara

LAPORAN PROYEK

- “Jalur Jalan Lintas Selatan Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta: Infrastruktur Baru Berdaya Guna” 74
Oleh : Zulaikha Budi Astuti
Bidang Pembangunan Jalan dan Jembatan BBPJJN Jateng DI Yogyakarta

Serba-Serbi

BINEKAPEDIA

- Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) Alat Canggih untuk Pemeriksaan Keamanan Jembatan 86
Oleh: Anang Mulyawan
Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

Redaksi menerima kiriman artikel/tulisan/opini/foto yang berkaitan dengan bidang jalan dan jembatan dalam lingkup kegiatan Bina Marga. pengiriman dapat dilakukan melalui email ke perpustakaan.jatan@pu.go.id disertai dengan data diri berupa biografi singkat dan alamat, nomor telepon yang dapat dihubungi. Redaksi berhak menyunting dan melakukan perubahan naskah tanpa mengubah isi dari pada tulisan.



Sambungan Baut Jembatan Lebih Tangguh Berkat Washer Bergerigi

Oleh: N. Retno Setiati

Balai Geoteknik Terowongan dan Struktur

Kerusakan struktur jembatan bisa diakibatkan adanya beberapa faktor diantaranya beban berlebih (*overload*), perencanaan atau pelaksanaan yang tidak sesuai standar dan spesifikasi, penggunaan material yang tidak sesuai dengan persyaratan, maupun faktor lingkungan yang belum diantisipasi.

Pentingnya Sambungan Baut untuk Kekuatan Jembatan

Pada jembatan dengan struktur rangka baja, sambungan menjadi bagian paling rentan karena harus menahan beban dinamis yang bisa menyebabkan kelelahan material. Oleh karena itu, sambungan baut berkualitas tinggi dengan sistem cengkraman friksi sangat penting untuk menjaga kekuatan struktur.

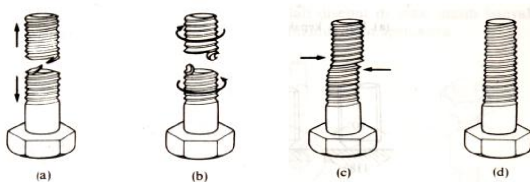
Prinsip kerja sambungan baut mutu tinggi pada struktur jembatan menghasilkan gaya jepit akibat gaya tarik (*tension*) baut, sehingga gaya friksi antara pelat yang

dijepit berfungsi sebagai penahan beban yang bekerja. Kekuatan jembatan rangka baja sangat dipengaruhi oleh kekuatan sambungan. Beberapa standar mengatur sambungan, termasuk sambungan jenis baut. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah posisi penempatan baut (meliputi jarak antar baut, jarak tepi minimum baut maupun jarak tepi maksimum baut).

Tipe kerusakan baut diantaranya, lubang baut yang bulat memanjang yang terjadi jika pelat sudah mencapai tegangan leleh ataupun fraktur. Selain itu, kerusakan ini juga bisa terjadi karena ketidakpasan lubang baut saat pemasangan pada profil siku maupun pelat buhul, yang akhirnya menyebabkan pelemahan struktur. Artikel ini akan membahas perbandingan kekuatan kekencangan baut dengan dan tanpa menggunakan ring pengunci baji bergerigi (*washer*).

Kekuatan Baut

Menurut Sutarso (1991), baut berfungsi sebagai pengikat/penyambung dua elemen disamping sambungan las dan keling. Umumnya, baut akan mengalami beberapa bentuk pembebanan yang terjadi, seperti beban puntir, beban geser, dan beban tarik, sehingga baut akan mengalami kerusakan. Kerusakan dapat disebabkan oleh beban tekan sehingga mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan dan membuat pergeseran pada pelat (Gambar 1).



Gambar 1. Pola Kerusakan Baut (Handra, N (2021))

Berdasarkan Gambar 1, kekuatan sambungan bergantung pada posisi baut sesuai beban. Jika beban melebihi kekuatan baut, sambungan bisa gagal atau deformasi. Deformasi tersebut berupa putus karena tarikan, puntiran, geser pada baut. Menurut Devi, dkk (2010), ada dua bentuk patahan baut yang terjadi akibat beban fatik, yaitu patah lelah dan patah getas. Patah getas terjadi karena baut tidak lagi mampu menahan beban yang bekerja setelah terjadinya awal patahan (patah lelah).

Ring Pengunci Baji (*Washer*)

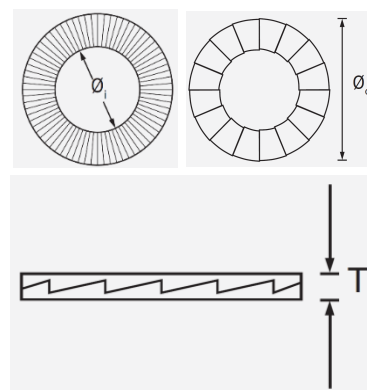
Washer adalah salah satu alat pengunci yang berfungsi untuk mengunci dan mengencangkan antar komponen yang akan disatukan.

Washer di Indonesia dikenal dengan sebutan ring, karena bentuknya yang menyerupai cincin. *Washer* adalah bagian dari alat sambung baut. Menurut Spesifikasi Khusus Interim “Ring Pengunci Baji (*Wedge Locking Washer*) untuk Sambungan Baut Mutu Tinggi pada Jembatan Baja”, SKh.1.8.22 Tahun 2024, bahwa ring pengunci baji adalah sistem pengunci sambungan baut mutu tinggi pada jembatan baja yang merupakan sepasang ring yang saling mengunci bagian bajinya (Gambar 2).



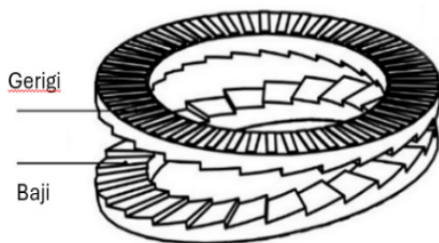
Gambar 2. Ring Pengunci Baji (*Washer*)

Bentuk *washer* secara detail ditunjukkan dalam gambar 3 berikut.



Gambar 3. Sketsa Dimensi Ring Pengunci-Baji

Ring pengunci baji dapat diterapkan pada pembangunan jembatan baja yang baru atau sedang tahap rehabilitasi, untuk menjaga sambungan baut mutu tinggi agar tetap kencang saat terjadi getaran. Menurut hasil penelitian, ring pengunci baji dibuat bergerigi dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sambungan baut (Gambar 4).

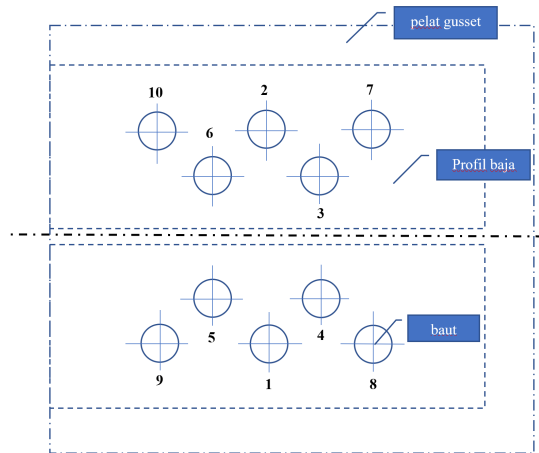


Gambar 4. Satu Pasang Ring Pengunci Baji Bergerigi

Washer berfungsi untuk mengunci kepala baut agar tidak longgar, meratakan beban, dan mencegah korosi. Jenisnya berbeda sesuai fungsi, terutama untuk beban diam atau benda yang mengalami getaran.

Metode Pemasangan dan Pengencangan Baut pada Jembatan Baja

Metode pemasangan dan pengencangan baut mengacu pada Surat Edaran Nomor 14/SE/M/2015 tentang Pedoman Pemasangan Baut Jembatan. Sesuai pedoman resmi, baut mutu tinggi dipasang dari tengah ke tepi secara menyilang untuk hasil lebih kuat.



Gambar 4. Skema Urutan Pemasangan Baut

Baut yang telah digunakan tidak boleh digunakan kembali. Pengencangan ulang baut yang longgar tidak diperbolehkan. Namun, saat pemasangan, pengencangan ulang baut yang longgar akibat pengencangan baut di sebelahnya masih diperbolehkan, karena bukan dianggap penggunaan kembali (*reuse*).

Berdasarkan SE No.14/SE/M/2015, ada lima metode pengencangan baut:

1. Metode putaran mur (*turn of nut*)
2. Metode *ring* indikator tarik (*direct tension indicators washer*)
3. Metode baut indikator tarik (*direct tension indicators bolt*)
4. Metode kontrol torsi dengan kunci torsi (*torque wrench*)
5. Metode putaran dengan baut kontrol gaya tarik (*twist-off type tension control bolt/ TC Bolt*)

Setiap baut yang sudah terpasang, perlu diperiksa kekencangannya dengan ketentuan sebagai berikut,

1. Pada konstruksi jembatan baru, pelaksana harus memastikan pemasangan dan pengencangan baut telah sesuai dengan prosedur yang ditentukan. Baut dan mur yang rusak berdasarkan pemeriksaan visual harus diganti;
2. Jumlah sampel baut yang diperiksa minimum 10% dari seluruh baut pada satu sambungan tetapi tidak boleh kurang dari dua buah baut;

3. Pemeriksaan terhadap gaya tarik baut menggunakan kunci torsi yang terkalibrasi.

Pemasangan ring pengunci baji harus memperhatikan kondisi tanpa karat, bengkok, retak, atau patah. Pengencangan harus sesuai standar (Tabel 1 dan 2) jika tidak, ring harus diganti dan kunci torsi dikalibrasi.

Tabel 1. Rekomendasi Torsi untuk Pemasangan Baut Mutu Tinggi Kelas 8.8 atau A325 dengan Ring Pengunci Baji

Kode Baut	Gaya Tarik (kN)	Kuat Leleh (kN)	Torsi (Nm)		
			Minyak Pelumas, $\mu_{th} = 0,15$, $\mu_h = 0,19$	Pasta Cu/C, $\mu_{th} = 0,13$, $\mu_h = 0,18$	Kering, $\mu_{th} = 0,18$, $\mu_h = 0,2$
M16	94	100	326	300	359
M20	147	157	639	589	704
M22	182	194	873	804	963
M24	212	226	1100	1014	1213
M27	275	294	1609	1482	1776
M30	337	359	2193	2022	2419
M36	490	523	3814	3513	4209

Tabel 2. Rekomendasi Torsi untuk Pemasangan Baut Mutu Tinggi Kelas 10.9 atau A490 dengan Ring Pengunci Baji

Kode Baut	Gaya tarik (kN)	Kuat leleh (kN)	Torsi (Nm)	
			Minyak pelumas, $\mu_{th} = 0,15, \mu_{th} = 0,13$	Pasta Cu/C, $\mu_{th} = 0,13, \mu_h \mu_{th} = 0,14$
M16	130	141	398	376
M20	203	220	780	736
M22	251	273	1063	1004
M24	293	317	1343	1268
M27	381	413	1962	1851
M30	466	505	2675	2525
M36	678	735	4650	4387

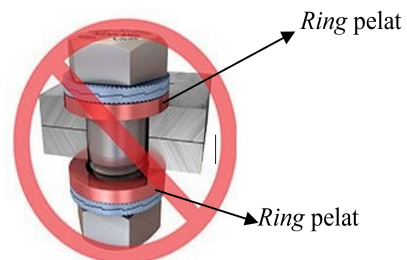
12

Keterangan untuk Tabel 1 dan Tabel 2:

- Pasta Cu/C adalah pasta tembaga/grafit;
- G_f adalah rasio titik hasil. Bila pengencangan dilakukan sesuai panduan dan tanpa penyimpangan, ini adalah tekanan yang dicapai dan dinyatakan dalam % dari titik hasil;
- μ_{th} adalah koefisien gesek ulir;
- μ_h adalah koefisien gesek di bawah kepala baut;
- Koefisien gesek ulir memiliki nilai teoretis, tetapi diverifikasi melalui pengujian;
- Koefisien gesek di bawah kepala baut telah ditetapkan dengan pengujian.

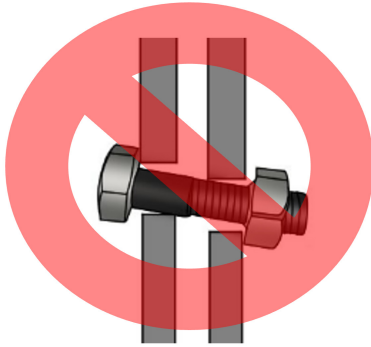
Pemasangan baut sebelumnya dilakukan pembersihan permukaan dari kotoran dan karat dengan menggunakan sikat kawat, jika diperlukan beri lapisan pelindung.

pembersihan ini agar mencegah korosi sebelum dipasang dan bagian luar ring pengunci baji dapat mencengkeram permukaan komponen jembatan baja. Peralatan yang digunakan meliputi pembersih karat, kunci torsi terkalibrasi, dan *scaffolding*. Jangan menambahkan ring pelat pada ring pengunci baji pada saat pemasangan (Gambar 5).



Gambar 5. Pemasangan Ring Pengunci Baji Dilarang Menggunakan Tambahan Ring Pelat

Kondisi baut dalam keadaan lurus sebelum dilakukan pengencangan dengan kunci torsi (Gambar 6).



Gambar 6. Lubang Baut antara Dua Pelat Tidak Lurus

Evaluasi dan Penggantian Ring Pengunci Baji pada Jembatan Citarum

Penggantian ring pengunci baji pada jembatan rangka baja Citarum yang berada pada ruas jalan Propinsi Kabupaten Bandung Jawa Barat dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya penurunan kinerja sambungan baut. Jembatan ini sudah memiliki umur layan mencapai lebih dari 20 tahun. Dibangun pada tahun 1995 menggunakan tipe RBR rangka baja Austria. Selanjutnya tahun 2014, lantai jembatan tersebut menggunakan pelat baja ortotropik.



(7a) Tampak samping



(7b) Tampak bawah

Gambar 7. Jembatan Citarum

Teknis Jembatan Citarum dijelaskan secara detil dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data Teknis Jembatan Citarum

1	Tipe jembatan	rangka baja Austria
2	Tipe lintasan	Sungai
3	Sistem	tumpuan balok sederhana (<i>simple beam</i>)
4	Panjang jembatan	55 m
5	Lebar jembatan	9 m
6	Jumlah jalur/lajur/arah	1 jalur/2 lajur/1 arah (tiap jalur)
7	Perletakan	bantalan karet
8	Kepala jembatan	beton bertulang

Jembatan Citarum kini kondisi sambungan baut sebagian besar sudah hilang dan kendur. Hilangnya salah satu baut akan merubah struktur kestabilan jembatan.



Gambar 8. Kondisi Baut pada Jembatan Citarum

Gambar 8 menunjukkan kondisi baut yang hilang pada Jembatan Citarum dalam masa layannya. Untuk mengantisipasi baut yang kendur maupun hilang, dilakukan uji *mockup* pemasangan baut dengan *washer*. Tahapan uji *mockup* terdiri dari:

1. Menempatkan ring pengunci baji (*washer*) di kedua sisi;
2. Memastikan lubang sambungan baut antar baja jembatan lurus;

3. Mengencangkan sambungan baut sesuai Tabel 1 dan Tabel 2;
4. Mengulangi langkah 2 (dua) untuk memastikan torsi pada sambungan baut;
5. Membuat garis torsi pada kepala baut dan badan mur (Gambar 9);
6. Memeriksa secara visual apakah terdapat baut yang kendur atau kerusakan pada baut;
7. Memeriksa secara visual apakah garis pemeriksaan torsi rusak.



Gambar 9. Kondisi Garis Lurus antara Kepala Baut dan Badan Mur

Sebanyak 10 baut mutu tinggi M12 dan M16 dipasang dengan ring pengunci baji biasa dan bergerigi. Pengujian torsi dan visual garis torsi dilakukan enam bulan setelah pemasangan, dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Momen torsi baut M12 dan M16 dengan ring pengunci baji (Nm)

No.	ring pengunci baji bergerigi (<i>washer</i>)		ring pengunci baji biasa	
	M16	M22	M16	M22
1	290	778	290	Tidak teridentifikasi
2	290	778	290	Tidak teridentifikasi
3	290	778	290	Tidak teridentifikasi
4	290	778	290	Tidak teridentifikasi
5	290	778	290	Tidak teridentifikasi
6	290	778	290	Tidak teridentifikasi
7	290	778	290	Tidak teridentifikasi
8	290	778	290	Tidak teridentifikasi
9	290	778	290	Tidak teridentifikasi
10	290	778	290	Tidak teridentifikasi

Uji *mockup* menunjukkan momen torsi baut M22 dengan ring pengunci baji biasa tidak teridentifikasi. Baut M16 mencapai 290 Nm, sementara M22 dengan ring bergerigi mencapai 780 Nm.

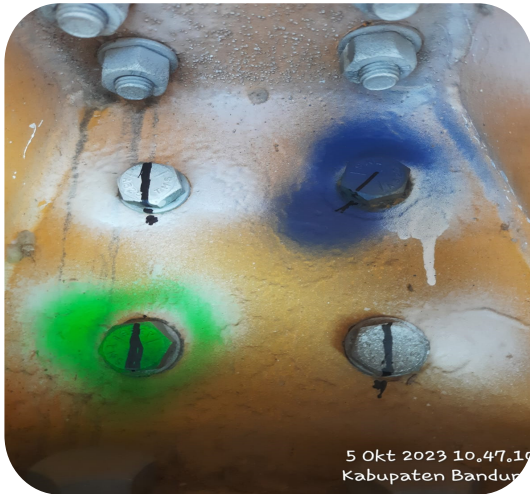
Tabel 4. Kondisi garis torsi pada lokasi baut

No.	Kondisi garis torsi pada ring pengunci baji bergerigi (<i>washer</i>)		Kondisi garis torsi pada ring pengunci baji biasa	
	M16	M22	M16	M22
1	baik	baik	baik	rusak
2	baik	rusak	rusak	rusak
3	rusak	baik	rusak	baik
4	baik	baik	baik	rusak
5	baik	baik	rusak	baik
6	baik	baik	baik	rusak
7	rusak	baik	baik	baik
8	baik	rusak	rusak	baik
9	baik	baik	rusak	rusak
10	baik	baik	baik	rusak

Tabel 4 menunjukkan jumlah perbandingan untuk kondisi garis torsi. Pada baut M16 dan M22 dengan *washer* jumlah garis torsi tetap lurus atau dalam kondisi baik sebanyak 80%, sementara 20% garis torsi dalam kondisi sudah tidak lurus.

Baut M16 dengan ring pengunci baji biasa hanya 50% yang berkondisi baik. Baut M22 hanya 40% garis torsi masih dalam kondisi lurus. Kondisi garis torsi masih dalam keadaan lurus menunjukkan bahwa tidak terjadi pergeseran pada garis penanda untuk sambungan yang menggunakan ring pengunci baji bergerigi (*washer*).

Kondisi garis torsi dalam keadaan tidak lurus menunjukkan bahwa baut mengalami kekenduran akibat terjadinya getaran dan beban dinamis pada jembatan. Kondisi garis torsi ditunjukkan dalam Gambar 10.



(10a) Kondisi garis torsi lurus



(10b) Kondisi garis torsi bergeser

Gambar 10. Kondisi garis torsi

Penggunaan *washer* menjadi teknologi yang lebih efektif dalam mencegah kekenduran baut, meningkatkan kestabilan jembatan, dan memberikan kinerja sambungan rangka baja tetap optimal meski terpapar frekuensi getaran dan beban dinamis dibandingkan ring pengunci baji biasa.



Policy Paper: Strategi pada Sektor Penyelenggaraan Jalan untuk Mengatasi Kemacetan Metropolitan Sarbagita

Oleh :

Rinaningtyas Anggriani Putri

Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan,
Direktorat Jenderal Bina Marga

18

Kota Denpasar, pusat Metropolitan Sarbagita, menjadi kota termacet ketiga di Indonesia pada 2023 (INRIX, 2020). Studi ini menyusun rekomendasi 8 program di 61 ruas jalan dalam tiga tahap (2025-2044) guna mengurangi kemacetan dan memaksimalkan peran kawasan ini sebagai pusat ekonomi dan pariwisata.

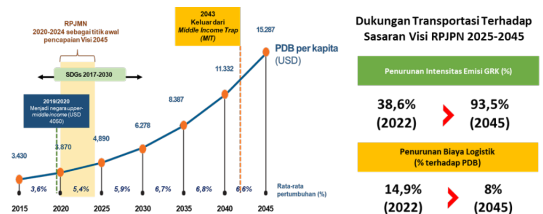
Kemacetan di Metropolitan Sarbagita: Ancaman bagi Mobilitas dan Pertumbuhan Ekonomi

Kota Jakarta, Surabaya, Bandung, Denpasar, dan beberapa kota besar lainnya di Indonesia dilansir dari Tomtom Traffic Index tahun 2024, masuk dalam kategori kota termacet di Asia.

Data Bappenas tahun 2024 menyatakan kerugian ekonomi akibat kemacetan di Jakarta mencapai Rp 65 triliun per tahun, sementara pada 5 wilayah metropolitan lain kerugian mencapai Rp 12 triliun per tahun. Selain itu, peningkatan 1% urbanisasi di Indonesia hanya dapat memberikan peningkatan 1,4% PDB per kapita.

Berbeda jauh bila dibandingkan dengan Tiongkok dimana 1% urbanisasi berkontribusi pada 3% peningkatan PDB per kapita serta Negara-Negara Asia Timur dan Pasifik yang mengalami peningkatan 2,7% PDP per kapita.

Selain tercantum dalam RPJMN 2019-2024, pengurangan kemacetan di perkotaan juga masuk dalam agenda RPJPN 2025-2045. Tujuannya adalah menekan emisi gas rumah kaca (GRK) dan mengurangi biaya logistik guna mendukung Transformasi Ekonomi Indonesia hingga 2045. Rancangan RPJMN 2025-2029 pun sejalan dengan upaya ini melalui program pembangunan perkotaan berkelanjutan di 10 wilayah metropolitan, termasuk Metropolitan Sarbagita.



Gambar 1. Agenda Transformasi Ekonomi Indonesia 2045 dan Dukungan Transportasi Terhadap Sasaran Visi RPJPN 2025-2045 (UU No. 59 Tahun 2024)

Salah satu wilayah metropolitan yang mengalami peningkatan kemacetan adalah Pulau Bali. Bersumber dari Subdit KSJJ Ditjen Bina Marga, pada masa libur Perayaan Natal 2023 dan Tahun Baru 2024, kemacetan panjang terjadi di sekitar Bandara Ngurah Rai, menyebabkan antrean hingga 4 km dan keterlambatan penerbangan. Beberapa wisatawan bahkan berjalan kaki di sepanjang jalan tol untuk mengejar jadwal pesawat. Hal ini tidak hanya berdampak buruk pada roda perekonomian Pulau Bali, namun juga memberikan citra yang kurang baik bagi Pulau Bali yang dikenal sebagai salah satu destinasi pariwisata. Kemacetan di Metropolitan Sarbagita tidak hanya terjadi pada masa liburan saja, melainkan juga terjadi pada hari-hari biasa.

Pada tahun 2024, 14 dari 41 (34,14%) ruas jalan nasional yang berada di Metropolitan Sarbagita memiliki nilai *Volume Capacity Ratio* (VCR) di atas 0,8 (kategori D, E, dan F) yang menandakan bahwa arus lalu lintas sudah masuk dalam kategori tidak optimal. Seperti yang diberitakan harian Bali Post terjadi kemacetan di Jalan Arteri Sekunder dan Kolektor Sekunder seperti Jalan Teuku Umar, Jalan Diponegoro, dan Jalan Dewi Sartika.

Data BPS tahun 2020 dan 2022 mencatat, Metropolitan Sarbagita dihuni oleh 1.779.122 jiwa dengan luas wilayah sebesar 723,97 km², menunjukkan kepadatan penduduk dengan kategori sangat padat mencapai 2.457,45 jiwa/km². Apabila disandingkan dengan panjang jalan nasional di Metropolitan Sarbagita sepanjang 170,98 km (37 ruas), maka *road density* di Metropolitan Sarbagita sebesar 23,61/100km².

Road density menjadi indikator penting dalam kebutuhan jaringan jalan di Metropolitan Sarbagita, mengingat prediksi jumlah penduduk yang mencapai 2.219.331 jiwa pada 2044, meningkat 24,74%.

Peningkatan jalan diperlukan untuk mengantisipasi kemacetan, yang berdampak buruk, terutama pada sektor pariwisata yang menjadi pendorong ekonomi.

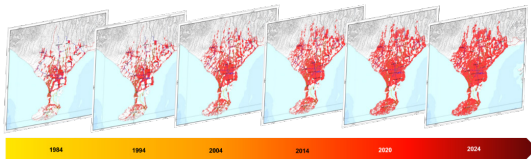
Studi kebijakan pengembangan jaringan jalan perkotaan di Metropolitan Sarbagita bertujuan untuk mendukung penyelesaian kemacetan dan agenda RPJPN serta RPJMN. Studi ini mencakup identifikasi, analisis, dan penyusunan program pengembangan jalan melalui pemodelan transportasi untuk memperkirakan permintaan perjalanan, penggunaan jaringan jalan, dan dampak pembangunan terhadap kinerja jalan.

Model transportasi yang digunakan adalah model empat tahap, meliputi bangkitan perjalanan (*trip generation*), sebaran perjalanan (*trip distribution*), pemilihan moda (*modal split*), dan pemilihan rute (*trip assignment*).

Kajian Pemodelan Transportasi dan Solusi Mengatasi Kemacetan

Pemodelan transportasi empat tahap menghasilkan hasil matriks asal-tujuan pada 15 zona internal dan 5 zona eksternal. Dari hasil ini, diidentifikasi ruas jalan yang perlu ditangani dengan mempertimbangkan empat aspek yaitu *trend* pengembangan wilayah, rencana pusat kegiatan, kinerja jaringan jalan, dan kebijakan terkait.

Aspek *trend* pengembangan wilayah (gambar 2.), terdapat 29 ruas jalan yang diidentifikasi dan dikategorikan pola pertumbuhannya menjadi empat kluster pengembangan wilayah yang akan mempengaruhi jenis penanganan. Empat kluster tersebut diperoleh 13 ruas dengan kluster datar, 12 ruas menanjak rendah, 3 ruas menanjak menengah, dan 1 ruas menanjak tinggi.



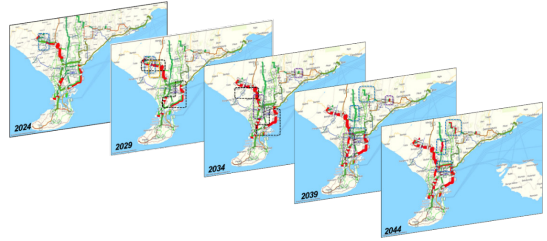
Gambar 2. Tren Pertumbuhan Wilayah Metropolitan Sarbagita 1984-2024

Aspek rencana pusat kegiatan, terdapat 33 ruas jalan yang memerlukan intervensi berdasarkan keberadaan 8 pusat kegiatan yang teridentifikasi yaitu:

- (a) Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sanur (6 usulan program),
- (b) KEK Kura-Kura Bali (5 usulan program),
- (c) Pusat pemerintahan (3 usulan program),
- (d) Pusat ekonomi dan perdagangan (3 usulan program),
- (e) Pusat pendidikan (5 usulan program),
- (f) Pusat kesehatan (5 usulan program), dan
- (g) Pusat kebudayaan dan wisata (6 usulan program).

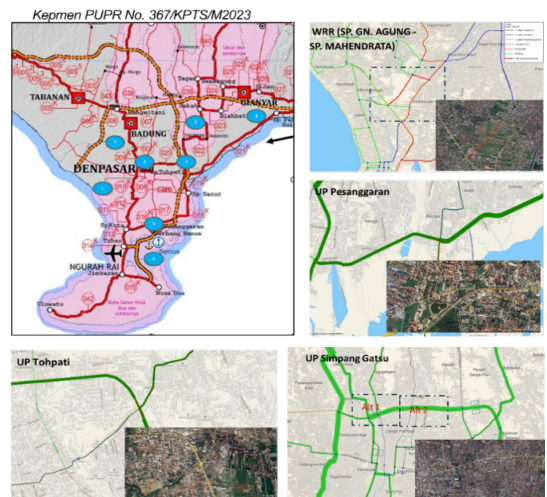
Aspek kinerja jaringan jalan, terdapat 26 ruas jalan yang memerlukan intervensi setelah melewati proses simulasi pemodelan. Ruas-ruas jalan tersebut adalah ruas jalan yang akan memiliki $VCR > 0,75$ dalam kurun waktu 2025-2044 apabila menggunakan skenario *do-nothing*.

Melalui skenario *do-nothing* tersebut diperoleh hasil 7 ruas memiliki $VCR > 0,75$ pada tahun 2025, bertambah 5 pada tahun 2029 menjadi 12 ruas, bertambah 3 pada tahun 2034 menjadi 15 ruas, dan bertambah 11 ruas pada tahun 2044 menjadi 26 ruas (gambar 3.).



Gambar 3. Kondisi Eksisting 2024 dan Skenario *do-nothing* 2029-2044

Adapun aspek kebijakan terkait, terdapat 4 ruas dengan usulan program (Gambar 4.) yang berasal dari Keputusan Menteri PUPR Nomor 367/KPTS/M/2023 yaitu Pembangunan Jalan *Ring Road* III (Sp. Gunung Sopotan-Nakula), *Underpass* Tohpati, *Underpass* Pesanggaran, dan *Underpass* Gatot Subroto (Sp. Cokroaminoto) yang dibangun untuk kebutuhan peningkatan konektivitas dan penanganan di jalur kepadatan tinggi.



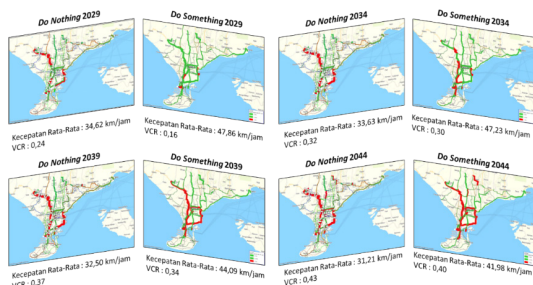
Gambar 4. Usulan Program Keputusan Menteri PUPR Nomor 367/KPTS/M/2023

Berdasarkan empat aspek pertimbangan tersebut, dilakukan *overlay* yang menghasilkan 61 ruas yang terdiri dari 20 ruas jalan nasional dan 41 ruas jalan provinsi yang perlu diintervensi melalui usulan program (Tabel 1).

Intervensi dilakukan melalui skenario *do-something* yang mencakup delapan jenis penanganan, yaitu Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas (MRL), Pelebaran Lajur (PL), Pelebaran Menambah Lajur Baru (PLB), Pembangunan Jalan (PB), *Dedicated Lane* untuk *Bus Rapid Transit* (BRT), Pembangunan *Flyover/Underpass* (FO/UP), Penerapan *U-Turn* (UT), dan Peningkatan Jalan (PJ). Sebanyak 50,99% penanganan berada di jalan nasional dan 49,01% penanganan berada di jalan provinsi.

Hasil implementasi *do-something* sangat berpengaruh pada meningkatnya kecepatan rata-rata berkendara, menurunnya waktu tempuh, serta menurunnya VCR, terlihat pada hasil simulasi pemodelan (gambar 5.).

Meskipun peningkatan infrastruktur jalan efektif hingga tahun 2029, efektivitasnya menurun pada tahun 2034, 2039, dan 2044. Perbedaan VCR serta kecepatan rata-rata antara skenario *do-nothing* dengan *do-something* mengindikasikan perlu adanya intervensi lain dalam penanganan kemacetan.



Gambar 5. Perbandingan Do-Nothing dan Do-Something 2029-2044

Penanganan jalan menjadi tidak efektif karena peningkatan volume kendaraan dan perubahan pola perjalanan akibat jaringan jalan baru. Masyarakat cenderung lebih memilih kendaraan pribadi (*induced demand*), yang mengembalikan kemacetan. Perencanaan transportasi jangka menengah dan panjang perlu lebih terintegrasi.

Penambahan jalan dan ruang parkir mendorong *urban sprawl*, meningkatkan ketergantungan pada kendaraan pribadi, yang pada gilirannya menambah tekanan pada infrastruktur jalan, menyebabkan kerusakan lebih cepat (*early damage*) dan penurunan umur jalan.

Alternatif Kebijakan

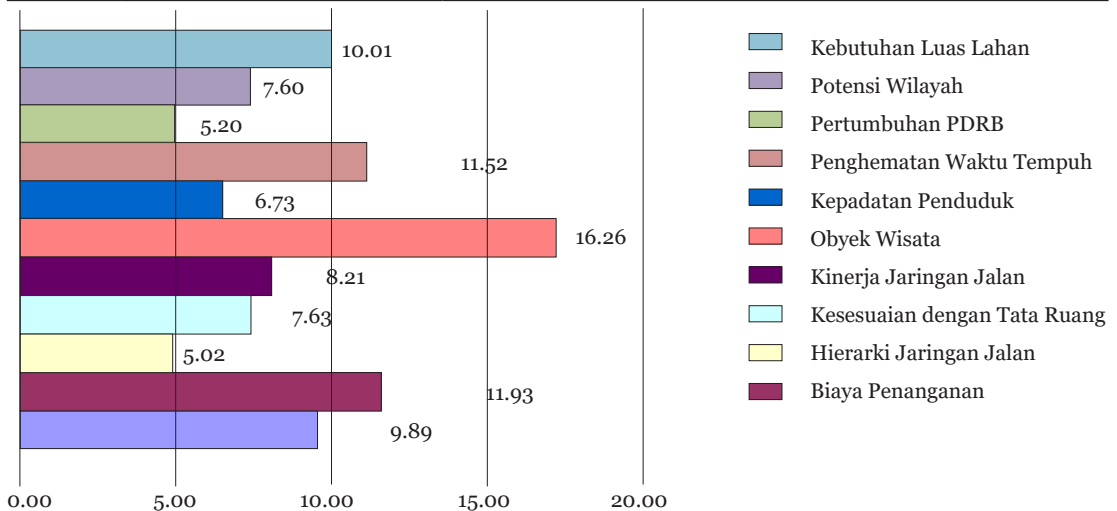
Untuk mengatasi kemacetan di Metropolitan Sarbagita menggunakan pendekatan sektor penyelenggaraan jalan, 61 ruas jalan diprioritaskan menggunakan MCA (*Multi Criteria Analysis*).

Terdapat 11 kriteria yang dikaji serta disusun bobot kepentingan setiap kriteria dengan *expert judgement* atau *panel expert*. (tabel 1. dan gambar 6).

Tabel 1. Kriteria Penyusunan Prioritas Penanganan Jalan

Kriteria	Nama	Penjelasan
K1	Aksesibilitas	Ruas jalan yang ditangani dapat mengakses Pelabuhan (skor 2,5), Bandara (skor 2,5), Terminal/Halte (skor 2,5), Pusat Kegiatan dan KEK (1,5)
K2	Biaya Penanganan	Estimasi biaya pembangunan pada ruas jalan yang ditangani: tinggi (1-3), sedang (4-7), rendah (8-10)
K3	Hierarki Jaringan Jalan	Ruas jalan yang ditangani pada kondisi <i>do-nothing</i> berada di Jalan Arteri Primer (skor 10), Jalan Arteri Sekunder (skor 8), Jalan Kolektor Primer (skor 6), Jalan Kolektor Sekunder (skor 4), dan Jalan lokal Sekunder (Skor 3).
K4	Kesesuaian dengan Tata Ruang	Ruas jalan yang ditangani pada kondisi sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (Rencum (skor 5), RTRWP (skor 3), RTRWK (skor 2))
K5	Kinerja Jaringan Jalan	Nilai VCR tertinggi pada ruas jalan yang ditangani dalam kondisi <i>do-nothing</i> (skor 0-10)
K6	Obyek Wisata	Ruas jalan yang ditangani menghubungkan KSPN (skor 7) dan KSP (skor 3)
K7	Kepadatan Penduduk	Ruas jalan yang ditangani melintasi wilayah dengan nilai kepadatan penduduk: rendah (skor 5), sedang (skor 7), tinggi (skor 10)
K8	Penghematan Waktu Tempuh	Ruas jalan yang ditangani memberikan penghematan waktu tempuh antara kondisi <i>do-nothing</i> dengan <i>do-something</i> atau terhadap jalan alternatifnya (untuk kasus pembangunan jalan): tinggi (skor 7-10), sedang (skor 3-6), rendah (skor 1-2)
K9	Pertumbuhan PDRB	Nilai pertumbuhan PDRB pada wilayah yang dilintasi ruas jalan yang ditangani pada kondisi <i>do-nothing</i> : rendah (skor 5), sedang (skor 7), tinggi (skor 10)
K10	Potensi Wilayah	Banyaknya sektor unggulan di zona dimana ruas jalan yang ditangani berada (industri pengolahan (skor 30), pertambangan (skor 20), pertanian-perkebunan-perikanan-kehutanan (skor 10), pariwisata-peternakan (skor 5))
K11	Kebutuhan Luas Lahan	Kebutuhan pembebasan lahan untuk ruas jalan yang ditangani pada kondisi <i>do-something</i> : tinggi (skor 1-3), sedang (skor 4-7), rendah (8-10)

22



Gambar 6. Distribusi Bobot Kepentingan tiap Kriteria

Secara umum, bobot kepentingan antar kriteria di Sarbagita tidak merata dengan sebaran antara 5,02% hingga 16,26% karena wilayahnya merupakan kawasan pariwisata. Menurut para pengambil keputusan menilai semua aspek pengembangan jalan memiliki tingkat urgensi yang hampir sama. Problem jaringan jalan di Sarbagita cukup merata meliputi pendanaan yang terbatas, penyediaan jalan yang masih

kurang, pemanfaatan dan manfaat kinerja jalan yang perlu ditingkatkan. Berdasarkan kriteria dan bobot kepentingan setiap kriteria tersebut, disusun matriks kinerja (*performance matrix*) yang menunjukkan tingkat pemenuhan kriteria berdasarkan hasil perkalian dari skor alternatif terhadap variabel kriteria dengan besarnya bobot setiap kriteria dengan hasil pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Kinerja Jaringan Jalan Sarbagita

Ruas	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	TOTAL	RANK
JALAN NASIONAL													
Lanjutan simpang Pasanggaran	98,91	119,29	401,54	76,29	1232,981	0,74	18,83	691,26	52,03	75,96	100,1	2867,931	1
Jl Tugu Ngurah Rai - Nusa Dua	98,91	119,29	240,92	30,52	1232,981	0,74	1,88	311,06	520,25	75,96	100,1	2732,611	2
JLN. A. YANI (TABANAN)	52,75	119,29	120,46	0	1232,981	0,03	8,72	691,26	390,19	75,96	100,1	2771,741	3
Bandara-Kuta, Legian-Mengwi	79,12	119,29	401,54	45,78	1232,981	0,04	18,83	311,06	390,19	75,96	100,1	2774,891	4
Mahendrata – Gunung Sopotan- Simpang Dewi Sri	52,75	119,29	240,92	45,78	1232,981	0,07	8,72	311,06	390,19	75,96	100,1	2577,821	5
Jl By Pass Ngurah Rai, (Menuju Pelabuhan Sanur)	39,56	119,29	240,92	45,78	1232,981	0,02	8,72	311,06	390,19	75,96	30,03	2494,511	6
Sp. Buagan - Sp. Mahendrata	52,75	119,29	120,46	15,26	1232,981	0,03	8,72	311,06	390,19	75,96	100,1	2426,801	7
Jln. Western Ring Road, Sp Buagan - Sp. BR. Abian Base	52,75	119,29	120,46	15,26	1232,981	0,02	8,72	311,06	390,19	75,96	100,1	2426,791	8
JL LINGKAR KERTALANGU	39,56	119,29	240,92	76,29	740,528	0,04	18,83	311,06	390,19	75,96	100,1	2112,768	9
SAMSAM (PENYALIN) - BTS. KOTA TABANAN	39,56	119,29	120,46	30,52	370,14	0	18,83	691,26	520,25	22,79	100,1	2033,2	10
JALAN PROVINSI													
Bts. Kota Denpasar - Sp. Petang	79,12	119,29	401,54	76,29	1232,981	0,04	6,39	691,26	390,19	75,96	30,03	3103,091	1
JLN.UDAYANA - HASSANUDIN (DPS)	98,91	119,29	240,92	45,78	1232,981	0,04	18,83	691,26	390,19	22,79	100,1	2961,091	2
Jl Raya Tuban	98,91	119,29	401,54	76,29	740,53	0,03	6,39	691,26	52,03	75,96	100,1	2362,33	3
JLN. GUNUNG BATUR - GUNUNG AGUNG (TABANAN)	79,12	119,29	401,54	76,29	1232,981	0,74	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	2344,701	4
Jln. Gunung Agung - Gunung Sanghyang	52,75	119,29	120,46	76,29	370,14	0,03	1,88	691,26	520,25	75,96	100,1	2128,41	5
Jl Gunung Agung	52,75	119,29	401,54	15,26	740,53	0,74	6,39	691,26	52,03	22,79	30,03	2132,61	6
Jl Hang Tuah	79,12	119,29	401,54	76,29	370,14	0,04	18,83	311,06	520,25	75,96	100,1	2072,62	7
DENPASAR - SIMP. PESANGGARAN	39,56	119,29	401,54	15,26	740,53	0,74	0,61	311,06	390,19	22,79	30,03	2071,6	8
Jln. Batas Kediri - Tanah Lot	79,12	119,29	401,54	76,29	370,14	0,04	0,61	311,06	520,25	75,96	100,1	2054,4	9
KEDEWATAN - UBUD	39,56	119,29	240,92	15,26	740,53	0,04	0,61	691,26	52,03	75,96	30,03	2005,49	10
JLN.GAJAHMADA - P.MENJANGAN - P.BATAM (TABANAN)	79,12	119,29	240,92	76,29	370,14	0,74	8,72	311,06	520,25	22,79	30,03	1779,35	11
Jl Kampus Udayana	39,56	119,29	240,92	76,29	370,14	0,74	18,83	311,06	520,25	22,79	30,03	1749,9	12
JALAN NASIONAL													
Jl Imam bonjol	39,56	119,29	120,46	76,29	740,528	0,74	18,83	311,06	390,19	75,96	100,1	1993,008	11
BR. TAMAN TANDA - MENGWITANI	39,56	119,29	120,46	76,29	740,528	0	18,83	311,06	390,19	75,96	30,03	1922,198	12
AKSES TERMINAL MENGWI (KAB. BADUNG)	39,56	119,29	120,46	76,29	740,528	0	18,83	311,06	390,19	75,96	30,03	1922,198	13
Jl Kuta - Sp. BR. Abian (Sunsetroad)	52,75	119,29	120,46	76,29	370,14	0,04	18,83	311,06	390,19	75,96	30,03	1565,04	14
Jl Teku Umar, Jl Imam bonjol	52,75	119,29	120,46	76,29	370,14	0,04	18,83	311,06	390,19	75,96	30,03	1565,04	15
Jl WRR (Sp. Gn. Agung - Sp. Mahendrata)	52,75	119,29	120,46	76,29	370,14	0	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1173,67	16
Jl Kemayoran Bandara	39,56	119,29	40,15	76,29	370,14	0	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1080,17	17
SIMPANG SANUR - SIMPANG TOHPATI	39,56	119,29	40,15	76,29	370,14	0,07	8,72	311,06	52,03	22,79	30,03	1070,13	18
Segmen 1 (Jl Siligita-Sawangan-Ungasan)	39,56	119,29	40,15	76,29	370,14	0,07	8,72	311,06	52,03	22,79	30,03	1070,13	19
Segmen II (Ungasan-Pecatut)	39,56	119,29	40,15	76,29	370,14	0	8,72	311,06	52,03	22,79	30,03	1070,06	20
JALAN PROVINSI													
Jl Raya Teges, made lebah, Jl cok gede rai	79,12	119,29	240,92	0	370,14	0,74	0,38	691,26	52,03	75,96	100,1	1729,94	13
Jl Raya Kerobokan, Jl. Gn Tangkuban Perahu	39,56	119,29	240,92	76,29	740,53	0,74	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1652,07	14
Jln. Husni Thamrin - Imam Bonjol - Bts. Kediri	39,56	119,29	240,92	0	740,53	0,03	0,38	311,06	52,03	75,96	100,1	1609,79	15
Tegal Tamu - Payangan - Batur Anyar	79,12	119,29	120,46	45,78	370,14	0,04	18,83	311,06	390,19	22,79	100,1	1577,8	16
Jln. Simpang Kediri - Kapten Tandean - Bts. Kediri	39,56	119,29	120,46	45,78	740,53	0,07	0,38	311,06	52,03	75,96	30,03	1535,15	17
SIDAN - BTS. KOTA BANGLI	39,56	119,29	120,46	15,26	370,14	0,04	2,76	691,26	52,03	22,79	100,1	1533,69	18
Jl. Kura Kura Bali, Sesetan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali	39,56	119,29	240,92	45,78	370,14	0,07	0,38	311,06	52,03	75,96	100,1	1355,29	19
Mambal - Kengetan	39,56	119,29	240,92	15,26	370,14	0,74	18,83	311,06	52,03	75,96	100,1	1343,89	20
Jl Siligita, Jl Kuruk Serta,	79,12	119,29	240,92	76,29	370,14	0,74	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1321,24	21
Jl Arjuna - Jl Nakula	79,12	119,29	240,92	76,29	370,14	0,03	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1320,53	22
JALAN NASIONAL													
Sp. Mahendrata - Sp. Buagan - Sp. Abian Base	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,07	8,72	311,06	52,03	22,79	30,03	1039,62	21
Jimbaran - Uluwatu	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,07	6,39	311,06	52,03	22,79	30,03	1037,29	22
MENGWITANI - BTS. KOTA DENPASAR	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,03	6,39	311,06	52,03	22,79	30,03	1037,25	23
SIMP. KEDIRI - PESIAPAN (TABANAN)	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,03	6,39	311,06	52,03	22,79	30,03	1037,25	24
SP. LAR. TERBANG (DPS) - TUGU NGURAH RAI	39,56	119,29	40,15	0	370,14	0,03	6,39	311,06	52,03	22,79	30,03	991,47	25
Simpang Cokroaminoto - Simpang Kargo (Gatot Subroto Barat)	39,56	119,29	40,15	0	370,14	0,03	5,72	311,06	52,03	22,79	30,03	990,8	26
Simpang Pasanggaran - Simpang Sanur	39,56	119,29	40,15	0	370,14	0,02	2,76	311,06	52,03	22,79	30,03	987,83	27
Segmen III (Jl Nasional)	39,56	119,29	40,15	0	370,14	0,02	1,88	311,06	52,03	22,79	30,03	966,95	28
Segmen IV dari Labuan Sait-Jimbaran	39,56	119,29	40,15	0	370,14	0,02	0,38	311,06	52,03	22,79	30,03	965,45	29
JALAN PROVINSI													
TEGES - TEGALLALANG - BAYUNG GEDE	39,56	119,29	240,92	0	370,14	0,04	0,38	311,06	52,03	75,96	100,1	1309,48	23
Sp. Cokroaminoto - Sp. Tohpati - Sp. Sanur	98,91	119,29	120,46	76,29	370,14	0,74	18,83	311,06	52,03	22,79	30,03	1220,57	24
Sp. BR. Abian Base - Tuban	39,56	119,29	240,92	30,52	370,14	0	0,61	311,06	52,03	22,79	30,03	1216,95	25
Jln. Denpasar - Sanur	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,74	18,83	311,06	52,03	22,79	100,1	1120,47	26
Jln. Simpang. BR. Abian Base - Tuban (Jl Patih Jelantik)	52,75	119,29	120,46	30,52	370,14	0,74	8,72	311,06	52,03	22,79	30,03	1118,53	27
JLN. SETIABUDI - WAHIDIN (DPS)	39,56	119,29	40,15	76,29	370,14	0,03	1,88	311,06	52,03	75,96	30,03	1116,42	28
Jln. Simpang Kerobokan - Munggu - Tanah Lot	79,12	119,29	120,46	0	370,14	0,74	0,61	311,06	52,03	22,79	30,03	1106,27	29
SP. KARGO - SP. IMAM BONJOL (DENPASAR)	52,75	119,29	40,15	76,29	370,14	0,74	1,88	311,06	52,03	22,79	30,03	1077,15	30
Jl. Matahari Terbit, Sanur Kaja, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali	98,91	119,29	40,15	0	370,14	0,03	0,61	311,06	52,03	22,79	30,03	1045,04	31
Simpang Canggung - Bringkit -batuan Purnama - Tanah lot	39,56	119,29	40,15	45,78	370,14	0,04	0,61	311,06	52,03	22,79	30,03	1031,48	32

Hasil akhir pembobotan dan MCA, penanganan untuk 61 ruas jalan Sarbagita dibagi menjadi 3 tahap yaitu jangka pendek (2025-2029) sebanyak 22 ruas (35,29%), jangka menengah (2030-20234) sebanyak 20 ruas (29,41%), dan jangka panjang (20234-2044) sebanyak 19 ruas (34,31%). Karena kapasitas jalan diperkirakan hanya efektif mengurangi kemacetan hingga 2029, sehingga ruas yang masuk dalam tahap jangka pendek menjadi prioritas utama untuk dituntaskan.

Dalam mendukung penanganan tersebut, strategi yang diterapkan diantaranya:

1. Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas (MRL) untuk mengoptimalkan penggunaan jalan, mengurangi kemacetan, meningkatkan keselamatan, serta mendukung mobilitas yang lebih baik.
2. Pelebaran Lajur (PL) dilakukan pada lajur lalu lintas yang belum standar (<3,5m) untuk menyesuaikan lebar jalan agar lebih aman dan mengurangi risiko kecelakaan.
3. Pelebaran Menambah Lajur Baru (PLB) untuk meningkatkan kapasitas jalan dan mengurangi antrian kendaraan.
4. Pembangunan Jalan (PB) ditujukan untuk menggantikan peran jaringan jalan dalam perkotaan yang sudah tidak sesuai

fungsinya (Arteri Primer berubah menjadi Arteri Sekunder) yang diakibatkan adanya *mix traffic*.

5. *Dedicated Lane* untuk *Bus Rapid Transit* (BRT) jalur khusus yang dirancang untuk transportasi publik bus agar dapat melayani penumpang dengan lebih efisien, cepat, dan aman meskipun mengurangi kapasitas jalan umum.
6. Pembangunan *Flyover / Underpass* (FO/UP) untuk mengurangi kemacetan di persimpangan sibuk.
7. Penerapan *U-Turn* (UT) untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas, keselamatan, dan efisiensi penggunaan jalan, ketika kendaraan berbalik arah.
8. Peningkatan Jalan (PJ) untuk menjaga daya tahan dan kenyamanan jalan.

Penerapan skenario *do something* baik pada pelebaran menambah lajur, pembangunan jalan, pembangunan FO/UP memerlukan keterlibatan Pemerintah Daerah Kawasan Metropolitan Sarbagita, terutama dalam hal pembebasan lahan/tanah. Sementara, implementasi MRL dan *U-Turn* yang dilakukan perlu diimbangi dengan kebijakan dari Kementerian Perhubungan atau Dinas Perhubungan agar implementasi lebih efektif.

Tabel 6. Kebijakan Prioritas Tepilih (Jangka Pendek)

Lokasi/ Ruas	Program	Rencana Detail Program	Prioritas	Tahap Jangka Pendek (Prioritas)				
				2025	2026	2027	2028	2029
Jalan Nasional								
Lanjutan Simpang Pesanggaran	UP	Pembangunan Underpass sepanjang 600 meter	1					
Jl. Tugu Ngurah Rai – Nusa Dua	MRL, UP, PLB, Jalur BRT	Pembangunan Underpass Sepanjang 500 meter, penerapan MRL pada Jalan Akses Pelabuhan Sanur	2					

Lokasi/ Ruas	Program	Rencana Detail Program	Prioritas	Tahap Jangka Pendek (Prioritas)				
				2025	2026	2027	2028	2029
Jln. A. Yani (Tabanan)	MRL, PL	Penataan <i>Parking on the street</i> , penataan waktu simpang bersinyal sepanjang Jalan A. Yani dan pelebaran menambah lajur	3					
Bandara – Kuta, Legian – Mengwi	JB	Sepanjang Ruas	4					
Mahendrata – Gunung Sopotan – Simpang Dewi Sri	PJ	Sepanjang Ruas	5					
Jl. Bypass Ngurah Rai (Menuju Pelabuhan Sanur)	MRL, UP	Pembangunan UNDERpass Sepanjang 500 meter, penerapan MRL pada Jalan Akses Pelabuhan Sanur	6					
Sp. Buagan – Sp. Mahendrata	PLB	Sepanjang Ruas	7					
Jln. Western Ring Road, Sp Buagan – Sp. BR. Abian Base	BRT	Sepanjang Ruas	8					
Jl. Lingkar Kertalangu	MRL, PL	Penambahan lajur dari 2 lajur menjadi 3 lajur dari Jalan Lingkar Kertalangu menuju ruas Sp. Sanur – Sp. Toh Pati	9					
Samsam (Penyalinn) – Bts. Kota Tabanan	MRL, PL	Sepanjang Ruas	10					
Jalan Provinsi								
Bts. Kota Denpasar – Sp. Petang	PL	Dari awal ruas sampai Jembatan Tukad Mambal dan MRL di Simpang Jl. Raya Mambal Semana	1					
Jln. Udayana – Hassanudin (Dps)	MRL, PL	Penataan parkir <i>on-street</i>	2					
Jl Raya Tuban	MRL	Penerapan MRL pada Sp. Jalan Raya Tuban (Penataan waktu pada simpang bersinyal)	3					
Jl. Gunung Batur – Gunung Agung (Tabanan)	MRL, PL	Penataan parkir <i>on-street</i>	4					
Jln. Gunung Agung – Gunung Sanghyang	MRL	Penerapan MRL pada Sp. Jalan Agung (Penataan waktu pada simpang bersinyal)	5					
Jl. Gunung Agung	MRL, PLB, BRT	Pengembangan Jaringan jalan sepanjang ruas dan penerapan MRL pada Sp. Jalan Gunung Agung (Penataan waktu pada simpang bersinyal)	6					
Jl Hang Tuah	MRL	Penerapan MRL pada Sp. 4 Jalan Hang Tuah (Penataan waktu pada simpang bersinyal)	7					
Denpasar – Simpang Pesanggaran	MRL, PL	Penerapan MRL pada Pesanggaran (Penataan waktu pada simpang bersinyal)	8					
Jln. Batas Kediri – Tanah Lot	PL	Sepanjang Ruas	9					
Kedewatan – Ubud	MRL, PL	Pelebaran menuju standar/ penerapan satu arah	10					
Jln. Gajahmada – P. Mejanggan – P. Batam (Tabanan)	MRL, PL	Penataan parkir <i>on-street</i>	11					
Jl. Kampus Udayana	MRL	Penerapan MRL pada Simpang Udayana	12					



Rekomendasi Kebijakan

Untuk mendukung kebijakan penanganan 22 ruas prioritas di Metropolitan Sarbagita, diperlukan regulasi yang mengatur pelaksanaan program penanganan jalan. Rekomendasi ini akan dituangkan dalam Rencana Strategis Direktorat Jenderal Bina Marga 2025-2029 dan revisi Rencana Umum Jaringan Jalan Nasional 2020-2040. Kebijakan ini melibatkan integrasi antara Kementerian PUPR, Kementerian Perhubungan, Bappenas, Kementerian ATR/BPN, Kementerian Perindustrian, Kementerian Pariwisata serta kementerian terkait lainnya.

Rekomendasi kebijakan ini dapat menjadi masukan dalam Rencana Pengembangan Infrastruktur Wilayah (RPIW) Provinsi Bali pada sektor jalan. Karena kebijakan dan strategi pada sektor jalan hanya efektif pada tahun 2029 dan tingkat efektivitasnya menurun pada tahun 2034-2044, maka perlu intervensi dari berbagai sektor untuk mengatasi kemacetan di Metropolitan Sarbagita. Berikut rekomendasi kebijakan dalam penanganan kemacetan di Sarbagita,

Integrasi dan pengembangan sistem transportasi massal.

Selain BRT, perlu ada pengembangan sistem transportasi massal, seperti jaringan LRT, jaringan kereta api dan pembangunan bandara baru di wilayah Bali bagian utara.

Pengawasan pada pemanfaatan ruang di sepanjang jalan perlu ditingkatkan.

Aktivitas di badan jalan seperti parkir dan pedagang kaki lima dapat mengurangi kapasitas jalan. Diperlukan komitmen baik dari Pemerintah Daerah dan pelaku usaha untuk dapat mewujudkan pemanfaatan ruang di sepanjang jalan yang sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Peningkatan kolaborasi antar stakeholder.

Berbagai pihak harus berkolaborasi untuk mewujudkan Sarbagita bebas macet, termasuk Ditjen Bina Marga, Dinas PUPR, Kementerian dan Dinas Perhubungan, serta pelaku usaha dalam mengelola infrastruktur dan lalu lintas.

Penguatan regulasi termasuk pembatasan kepemilikan kendaraan.

BAPPEDA Provinsi Bali menyebutkan kepemilikan kendaraan meningkat 12% setiap tahunnya, memicu lonjakan kendaraan di jalanan. Pembatasan memiliki kendaraan dapat dilakukan terkhusus pada pendatang yang hendak menetap di Provinsi Bali maupun turis.

Tidak usah membenarkan
diri kesana kemari

agar engkau dikagumi
jika perkataan dan
perilaku mu benar dari
hati, maka diam mu
pun akan dihormati dan
disegani

- *Presiden Prabowo*



Menuju Ekonomi Sirkular Dengan Pemanfaatan Limbah Batubara Pada Konstruksi Jalan dan Jembatan

Oleh:

Ali Zakariya

Direktorat Pembangunan Jembatan

28

Pada tahun 2019, penggunaan batubara sebagai sumber energi di Indonesia diperkirakan mencapai 200 juta ton per tahun, menghasilkan residu berupa *fly ash* sekitar 10 juta ton dan *bottom ash* sekitar 2 juta ton. Pemerintah melalui Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) berupaya menerapkan ekonomi sirkular sebagai bagian strategi ekonomi hijau dengan prinsip 9R (*Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, dan Recover*).

Sejalan dengan visi tersebut, Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup memberikan peluang lebih luas untuk pemanfaatan *fly ash* dan *bottom ash* (FABA), setelah kategorinya diturunkan menjadi limbah B3 dari sumber spesifik khusus kategori bahaya 2.

Sejak tahun 2015, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah bekerja sama dengan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk penelitian, pengembangan, penerapan teknologi serta percepatan pemanfaatan FABA dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara dalam pembangunan infrastruktur. Kesepakatan ini memberikan kesempatan bagi Kementerian PUPR untuk melakukan penelitian dan pengembangan pemanfaatan FABA dalam lingkup pekerjaan PUPR.

Sebagai komitmen terhadap konstruksi berkelanjutan, Kementerian PUPR menerbitkan Peraturan nomor 05/PRT/M/2015 tentang Pedoman Umum Implementasi Konstruksi Berkelanjutan pada Penyelenggaraan Infrastruktur Bidang PUPR yang mengedepankan prinsip-prinsip keberlanjutan sejak tahap pemrograman,

perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, pemanfaatan, hingga tahap pembongkaran. Beberapa langkah yang dapat didorong berupa pengurangan timbunan limbah dan pengurangan penggunaan sumber daya (*reduce*), penggunaan kembali sumber daya yang telah digunakan (*reuse*), dan pengolahan sumber daya yang telah digunakan sebelumnya menjadi material baru (*recycle*).

Rencana strategis Kementerian PUPR Tahun 2020-2024 menargetkan total pendanaan infrastruktur sebesar 887,9 triliun rupiah yang terdiri dari infrastruktur bidang Sumber Daya Air, Bina Marga, Cipta Karya, dan Perumahan. Besarnya anggaran tersebut menjadikan pemanfaatan limbah batubara berpotensi besar pada pembangunan infrastruktur PUPR, salah satunya terhadap pengurangan material semen. Data kebutuhan semen nasional cenderung selalu meningkat setiap tahunnya, sebanyak 69,51 juta ton pada tahun 2018, 69,9 juta ton pada tahun 2019 dan 73,77 juta ton pada tahun 2020.

Penggunaan semen cenderung akan terus naik dari tahun ke tahun seiring peningkatan pembangunan infrastruktur. Sementara itu, pemanfaatan *fly ash* di Indonesia masih cukup rendah, hanya mencapai 1,2 juta ton pada tahun 2023 atau setara dengan 10% dari total produksi FABA, jauh tertinggal dibandingkan negara lain yang mencapai 40–60%.

Seperti India, Tiongkok, Amerika Serikat, dan Inggris oleh karena itu, Indonesia perlu mengejar ketertinggalan tersebut dengan melakukan optimalisasi pemanfaatan FABA.

Karakteristik FABA dan Potensi Pemanfaatan

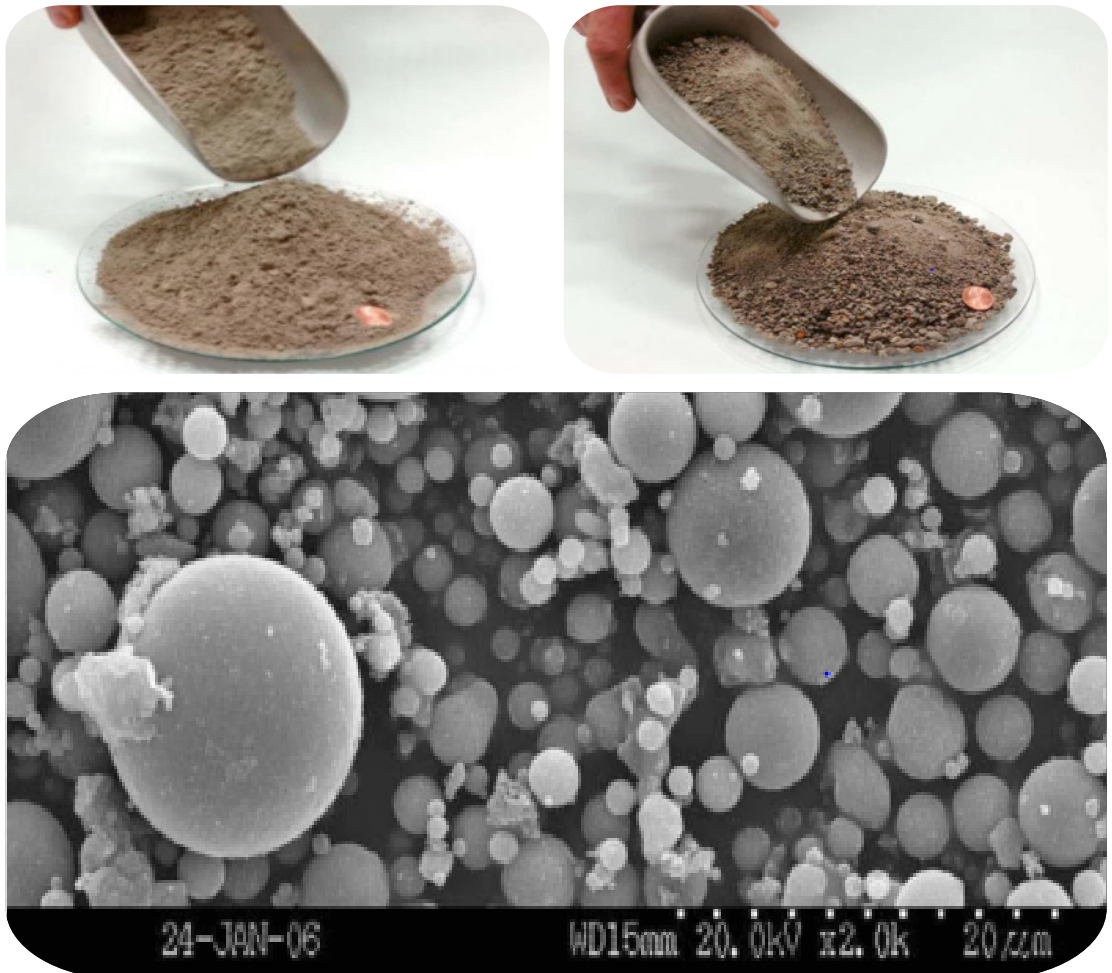
FABA adalah sisa hasil pembakaran (limbah) batubara pada tungku PLTU. Kualitas batubara tergantung dari jenis dan umur pembentukannya, semakin tua umurnya maka semakin tinggi kadar karbon yang mencapai 86 – 98% dan kadar air $\leq 8\%$ (lihat Tabel 1). *Fly ash* berbentuk butiran halus (0.5-300 mikrometer), bundar dan bersifat pozolanik sedangkan *bottom ash* menyerupai butiran pasir.

Secara kimiawi, FABA mengandung unsur silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO). Dengan kandungannya *fly ash* berfungsi sebagai *filler* dalam campuran beton, sementara *bottom ash* dapat digunakan sebagai pengganti pasir.

Tabel 1. Jenis Batubara (KLHK, 2019)

Batubara	Keterangan
Gambut	Berpori, memiliki kadar air di atas 75% dan nilai kalori paling rendah
Lignite/ <i>brown coal</i>	Batubara yang sangat lunak mengandung air 35-75% dari beratnya
Sub Bituminus	Mengandung sedikit karbon dan banyak air, sehingga menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus
Bituminus	Mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan kadar air 8-10% dari beratnya.
Antrasit	Kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (<i>luster</i>) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.

30

**Gambar 1.** Karakteristik Fisik FABA: (a) Tampak fisik *fly ash* (b) Tampak fisik *bottom ash* (c) Ukuran partikel *fly ash* (KLHK, 2019)

Tabel 2. Persyaratan kima *fly ash* kelas F dan C

Uraian	Kelas	
	F	C
Persyaratan Kimia:		
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min. (%)	70	50
SO ₃ , maks. (%)	5	5
Kadar air, maks. (%)	3	3
Hilang pijar, maks. (%)	6	6
CaO, (%)	<10	>10
Persyaratan Fisik:		
Kehalusan: Jumlah yang tertinggal di atas ayakan 45 µm (No. 325) diayak secara basah, maks, %	34	34
Indeks aktifitas kekuatan:		
- dengan semen <i>portland</i> , pada umur 7 hari, min, persen kontrol	75	75
- dengan semen <i>portland</i> , pada umur 28 hari, min, persen kontrol	75	75
- kebutuhan air, maks, persen control	105	105
Kekekalan bentuk (<i>soundness</i>): C	0,8	0,8
Ekspansi atau penyusutan dengan <i>autoclave</i> , maks, %		
Persyaratan keseragaman:		
Densitas dan kehalusan dari sampel individu tidak boleh bervariasi dari rata-rata 10 sampel atau dari seluruh sampel jika jumlahnya kurang dari 10, lebih dari:		
- Densitas, variasi maksimal dari rata-rata, %	5	5
- Persentase bahan yang tertinggal pada ayakan 45 µm, (No. 325), variasi maksimal, persentase dari rata-rata	5	5

Tabel 3. Sifat fisik *bottom ash* (KLHK, 2019)

Sifat Fisik	<i>Wet Bottom</i>	<i>Dry Bottom</i>
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil/granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengilap	Serupa pasir halus, sanget berpori
Ukuran	No. 4 (90-100%)	1,5 – ¾ inch (100%)
% Lolos Ayakan	No. 10 (40-60%)	No. 10 (50-90%)
	No. 40 (≤10%)	No. 40 (10-60%)
	No. 200 (≤5%)	No. 200 (0-10%)
Berat Jenis Spesifik	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Berat Unit Kering	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2%

32

Menurut SNI 2460:2014 tentang Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton, *fly ash* untuk beton dibagi menjadi kelas F (pozolanik) dan Kelas C (pozolanik dan sementasi). *Fly ash* kelas F berasal dari batubara jenis bituminous dan kelas C dari batubara berjenis lignit dan sub bituminous. SNI 9092:2022 menetapkan ukuran maksimum *fly ash* untuk konstruksi timbunan adalah 4,75 mm dan *bottom ash* 37,5 mm.

Berdasarkan pedoman bahan konstruksi bangunan dan rekayasa sipil nomor Pd 14-2018-B tentang penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland, penggunaan *fly ash* dapat digunakan dalam campuran beton sebagai bahan pengikat tambahan sampai dengan 40% dari total bahan semen portland.

Sementara itu berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan yang dikeluarkan oleh

Direktorat Jenderal Bina Marga, jumlah *fly ash* maksimum yang dapat digunakan adalah 25% dari berat bahan pengikat hanya untuk pemakaian *ordinary portland cement* Tipe I atau III. Sementara untuk semen *portland pozzolan cement* (PPC) atau *blended cement* lainnya tidak diperbolehkan.

Fly ash pada beton menjadi bahan *filler* kimia tidak aktif yang digunakan untuk memperbaiki gradasi agregat campuran. Meski begitu, setiap lokasi pekerjaan memiliki karakteristik material yang berbeda sehingga penggunaan jumlah optimal FABA perlu disesuaikan dengan cara melakukan *trial and error*.

Dukungan Kebijakan Pemerintah dalam Pemanfaatan Limbah Batubara

Kebijakan pemerintah dalam mendukung pemanfaatan FABA tertuang dalam beberapa peraturan, pedoman, dan standar, diantaranya sebagai berikut:

1. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup;
2. Peraturan Menteri PUPR Nomor 05/PRT/M/2015 tentang Pedoman Umum Implementasi Konstruksi Berkelanjutan pada Penyelenggaraan Infrastruktur Bidang Pekerjaan Umum dan Permukiman;
3. Instruksi Menteri PUPR Nomor 04/IN/M/2020 tentang Penggunaan Semen *Non Ordinary Portland Cement* pada Pekerjaan Konstruksi di Kementerian;
4. Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 07/SE/M/2016 tentang Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal dengan Semen OPC, PPC, dan PCC;
5. SNI 03-6468:2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang;
6. SNI 6867:2002 Spesifikasi Abu Terbang dan Pozolan Lainnya untuk Digunakan dengan Kapur;
7. SNI 6468:2002 Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang;
8. SNI 03-6863:2002 Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian Abu Terbang atau Pozolan Alam Sebagai Mineral Pencampur dalam Beton Semen Portland;
9. SNI 15-0302:2004 Semen Portland Pozolan;
10. SNI 7064:2014 Semen Portland Komposit;
11. SNI 2460:2014 Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang Telah Dikalsinasi untuk Digunakan dalam Beton;
12. SNI 9092:2022 Spesifikasi Timbunan Pilihan dan Lapis Fondasi menggunakan Abu Batubara/*Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA);
13. Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2;
14. SKh-1.5.15 Spesifikasi Khusus Timbunan Pilihan dan Lapis Fondasi menggunakan Abu Batubara/*Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA); dan
15. Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Nomor Pd 14-2018-B tentang Penggunaan Abu Terbang dalam Campuran Beton Sedikit Semen Portland.

Dengan demikian, pemanfaatan FABA sangat dimungkinkan sebagai bahan material dalam campuran beton, timbunan, maupun lapis fondasi perkerasan jalan.

FABA sebagai Pengontrol Temperatur di Beton Massa

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, beton massa adalah beton dengan dimensi terkecil sama atau >1 m atau komponen struktur dengan ukuran yang <1 m tetapi mempunyai potensi menghasilkan temperatur maksimum/puncak melebihi batas temperatur yang diizinkan. Struktur seperti jembatan dengan bentang sedang hingga panjang sering kali memiliki elemen beton massa, termasuk *pilecap*, *pier*, *pier head*, dan *abutment*.

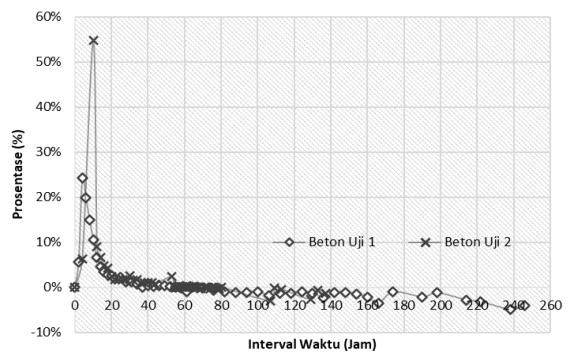
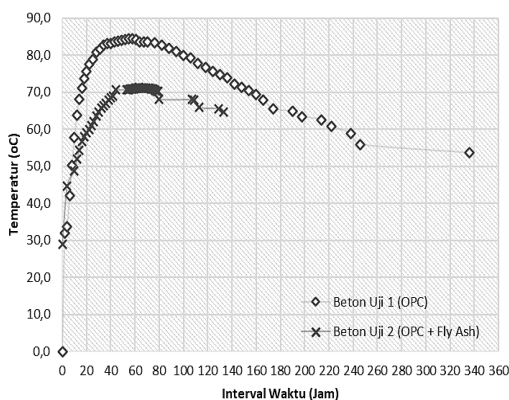


Gambar 2. (a) Struktur *pilecap* (b) Struktur *pier*, pada jembatan bentang menengah atau panjang keduanya berpotensi termasuk beton massa

34

Tantangan pekerjaan beton massa adalah saat pelaksanaan pengecoran yang harus menjaga temperatur inti beton tidak boleh melebihi 71°C dan perbedaan temperatur antara inti dan tepi maksimum 21°C. Semen memiliki CaO yang saat beraksi dengan air akan menghasilkan panas dan mengakibatkan risiko retak.

Penggunaan fly ash dapat mengatasi hal ini dengan mengurangi kandungan CaO dan meningkatkan SiO₂, sehingga temperatur tetap terjaga dan kuat tekan beton tetap optimal.



Gambar 3. Hubungan interval waktu saat pengerasan beton massa dengan; (a) Temperatur beton saat pengerasan (b) Prosentase kenaikan/penurunan temperatur (Zakariya dkk, 2021)

Tabel 2. Hasil pembacaan temperatur pada beton massa (Zakariya dkk, 2021)

Nama	Sementitus	Temperatur Puncak Aktual	Selisih Temperatur	Prosentase Penurunan Temperatur
Benda Uji 1	OPC 380 kg	84,4°C	13,1°C	15,52%.
Benda Uji 2	OPC 310 kg + FA 100 kg = 410 kg	71,3°C		

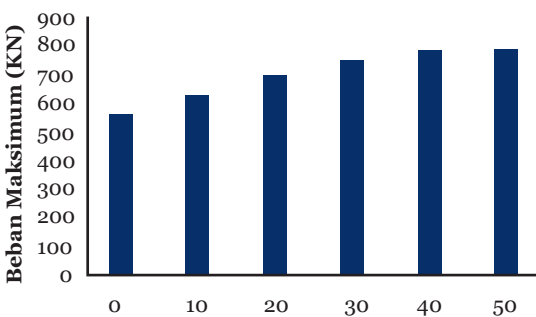
Hasil penelitian menunjukkan penggunaan *fly ash* kelas F sebesar 25% terhadap sementitus dapat mengurangi panas hidrasi hingga 15,52% (lihat Tabel 2) dan persentase kenaikan temperatur pada beton dengan *fly ash* cenderung melambat sehingga terjadi pergeseran waktu temperatur puncak dari beton normal pada jam ke-55 dengan temperatur puncak 84,4°C menjadi lebih lambat pada jam ke-64 dengan temperatur puncak 71,3°C (lihat Gambar 3). Penggunaan *fly ash* kelas F efektif dalam menurunkan temperatur puncak beton karena mengurangi kandungan kapur dalam campuran beton dan digantikan dengan silika.

Pada penelitian lain, campuran beton massa dengan jumlah semen yang tetap, penambahan *fly ash* kelas F hingga 50% meningkatkan kuat tekan beton hingga 790,667 kN (Gambar 4). Sebagai filler, *fly ash* memperkuat kohesi material, mengurangi porositas, serta menyempurnakan proses hidrasi. Sifat pozzolaniknya yang kaya silika (SiO₂) turut mengoptimalkan penguatan beton dan meningkatkan kapasitas kuat tekan.

FABA dalam Self Compacting Concrete



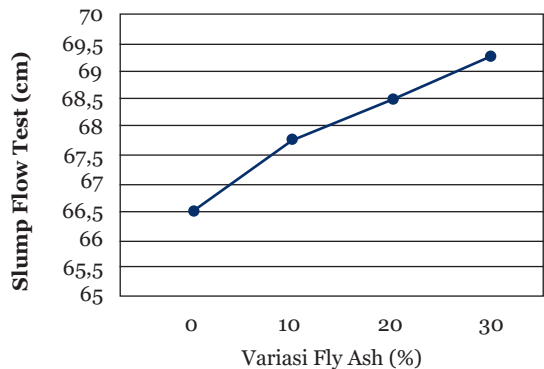
Perkembangan infrastruktur saat ini menuntut penggunaan beton berkinerja tinggi yang mudah diaplikasikan dan tahan lama, seperti *Self-Compacting Concrete* (SCC). SCC adalah jenis beton dengan tingkat *flowability* yang tinggi dan mampu memadat secara alami tanpa bantuan pemadatan mekanis, sehingga menghasilkan beton yang padat dan kedap, bahkan pada kondisi penulangan yang rapat.



Gambar 4. Hubungan *fly ash* sebagai filler dengan beban maksimum pengujian (Usman, 2018)

Pengujian kelecakan SCC menggunakan metode *slump flow test*, menjadikannya ideal untuk pekerjaan pada *bored pile* atau *precast*, di mana pemadatan menggunakan vibrator sulit dilakukan karena kedalaman pengecoran atau terbatasnya ruang pada bekisting.

SCC memiliki rasio bahan semen yang tinggi dengan membatasi fraksi agregat kasar hingga 50% dari volume beton, fraksi agregat halus sebesar 40%, serta penggunaan *superplasticizer* untuk meningkatkan *workability* dan menurunkan faktor air semen (FAS). Selain itu, SCC memanfaatkan *fly ash* kelas F hingga 30% dapat meningkatkan *flowability* dan kuat tekan beton. Sementara itu, SCC dengan variasi kadar *fly ash* sebesar 35%, 55%, dan 65%, ditemukan bahwa pada kadar 35%, mengalami peningkatan kuat tarik belah bertahap dan mencapai *modulus of rupture* tertinggi 6,217 MPa pada 28 hari.



Gambar 5. (a) *Slump flow test* pada SCC (b) Hubungan antara *fly ash* dengan *slump flow test* pada beton SCC (Patrisia, 2014).

FABA pada Bangunan Pelengkap Jalan

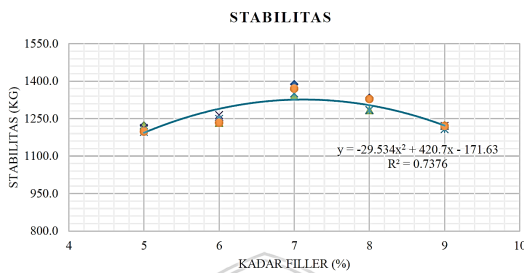


Selain untuk beton massa dan beton berkinerja tinggi, *fly ash* juga dapat dimanfaatkan dalam pembangunan jalan dan jembatan, khususnya pada bangunan pelengkap jalan, seperti *paving block* dan bata beton dengan kuat tekan sedang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fly ash* pada *paving block* layak digunakan karena kandungan kimiawinya dan kuat tekannya memenuhi persyaratan. *Fly ash* kelas C (dengan kandungan $\text{CaO} > 10\%$) sebagai substitusi pasir pada campuran bata beton dengan kadar 10% juga menghasilkan kuat tekan yang memenuhi standar mutu. Penggunaan *fly ash* dengan kadar optimum 33% dalam *paving block* mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 11,45 MPa, sementara pada batako, *fly ash* kelas C menjadi substitusi semen hingga 40% dengan kuat tekan sebesar 2,44 MPa.

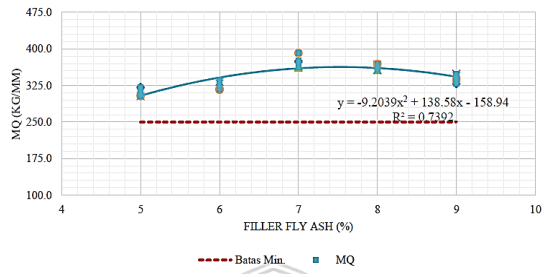
Peneliti lain menemukan komposisi optimal untuk paving block berbahan dasar FABA adalah 40% fly ash, 40% bottom ash, dan 20% semen, dengan kuat tekan beton mencapai 50,52 MPa pada umur 28 hari. Potensi ini membuka peluang pemanfaatan fly ash untuk berbagai bangunan pelengkap jalan yang tidak memerlukan beton berkinerja tinggi.

FABA sebagai Filler pada Campuran Aspal

Penambahan filler dalam campuran aspal beton berfungsi mengisi rongga dan meningkatkan daya ikat aspal, yang mempengaruhi stabilitas campuran. Umumnya, filler yang digunakan di Indonesia adalah semen portland, tetapi fly ash dengan sifat pozzolanik dan bersifat sementasi dapat menjadi alternatif. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 7% fly ash pada aspal beton lapis aus (AC-WC) menghasilkan void in mixture (VIM) 4,21%, voids in mineral aggregate (VMA) 19,21%, Stabilitas Marshall 1326,10 kg, Marshall Flow 3,69 mm, dan Marshall Quotient 360,13 kg/mm, memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Filler Fly Ash (%)
(a)



Filler Fly Ash (%)
(b)

Gambar 6. Hasil pengujian campuran aspal terkait hubungan prosentase fly ash sebagai filler terhadap (a) Nilai Stabilitas Marshall (b) Marshall Quotient (Sadillah, 2018)

FABA dalam perbaikan tanah lunak

FABA dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat tanah pada fondasi perkerasan jalan. Fly ash efektif dalam memperbaiki tanah lunak melalui peningkatan distribusi butiran, karakteristik pemadatan, shear strength, compressibility, dan permeabilitas.

Penerapan stabilisasi tanah menggunakan fly ash menghasilkan jumlah endapan yang paling sedikit setelah terjadi runoff, jika dibandingkan dengan penggunaan kapur atau tanah tanpa stabilisasi.

Sebagai bahan penstabil tanah, fly ash kelas F tetap memerlukan tambahan kapur atau semen, sementara fly ash kelas C tidak memerlukan tambahan tersebut karena memiliki sifat self-cementing, sehingga lebih efisien untuk stabilisasi tanah.

Tabel 3. Nilai kohesi pada tanah asli dan *cemented soil with fly ash* (Wardani, 2008)

Material	Nilai Kohesi c'
Tanah asli	10,5 kPa
Tanah asli + 1% semen + 3% <i>fly ash</i>	25,0 kPa
Tanah asli + 2% semen + 4% <i>fly ash</i>	45,8 kPa

Stabilisasi tanah *subgrade* dengan campuran 2% semen dan 4% *fly ash*, dapat dilakukan dengan proses *cyclic loading* menggunakan alat berat pemadat. Metode ini menunjukkan peningkatan nilai kohesi, sudut geser, dan kekakuan (*stiffness*) tanah (lihat Tabel 3).

Pada *cemented soil*, kekakuan meningkat tiga kali lipat akibat tambahan sementasi dan *interlocking* partikel. Kombinasi 15% *fly ash* dan 5% semen menurunkan *plasticity index* dari 37,20% menjadi 7,94% serta meningkatkan California Bearing Ratio (CBR) dari 0,78% menjadi 42,86%.

Campuran 25% *fly ash* dan 5% batu kapur juga efektif untuk tanah berplastisitas tinggi tanpa semen tambahan.

FABA sebagai lapis fondasi perkerasan jalan

Berdasarkan spesifikasi khusus SKh-1.5.15 tentang timbunan pilihan dan lapis fondasi menggunakan abu batubara (FABA), pemanfaatan FABA sebagai lapis fondasi jalan diperbolehkan baik dengan tambahan semen maupun tanpa semen. Jika menggunakan semen, kadar optimal berkisar antara 3–8%.

Fly ash kelas C atau F dapat digunakan, sementara *bottom ash* harus memiliki ukuran maksimum 37,5 mm. Nilai *Unconfined Compressive Strength* (UCS) untuk lapis fondasi menggunakan FABA pada umur 7 hari harus mencapai minimum 20 kg/cm² dan maksimum 35 kg/cm².

FABA sebagai lapis fondasi jalan dapat diterapkan dengan komposisi optimal 25% *fly ash*, 75% *bottom ash*, dan 9% semen. Hasil pengujian menunjukkan nilai UCS pada umur 7, 14, dan 28 hari berturut-turut mencapai 30,21 kg/cm², 33,40 kg/cm², dan 36,79 kg/cm² (lihat Tabel 4). Dengan komposisi ini, lapis fondasi memenuhi syarat minimum nilai UCS (30,21 kg/cm² > 20 kg/cm²), telah memenuhi standar untuk aplikasi lapis fondasi jalan.

Tabel 4. Hasil uji UCS pada variasi komposisi FABA dan semen (Susanto dkk, 2020)

Uraian	Nilai UCS (kg/cm ²)											
	15% FA + 85% BA			20% FA + 80% BA			25% FA + 75% BA			30% FA + 70% BA		
Kadar Semen	7%	8%	9%	7%	8%	9%	7%	8%	9%	7%	8%	9%
γ^d_{max}	1,65	1,69	1,68	1,68	1,68	1,68	1,67	1,67	1,67	1,57	1,59	1,70
W_{opt}	6,82	6,94	7,08	7,08	7,30	7,46	7,12	7,51	7,63	7,91	7,89	7,74
7 hari	18,2	20,86	22,60	19,50	26,53	30,21	25,47	28,82	33,05	8,00	12,46	23,7
14 hari	20,9	24,84	28,05	24,11	29,69	31,11	23,56	29,40	33,40	-	-	28,8
28 hari	23,0	29,82	32,44	28,46	31,30	36,66	28,82	31,89	36,79	-	-	29,5

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa campuran 50% fly ash, 50% bottom ash, dan 7% semen menghasilkan UCS 21,45 kg/cm², sementara tambahan 4% dan 6% batu kapur menghasilkan UCS 20,05 kg/cm² dan 27,70 kg/cm² secara berturut-turut.

FABA sebagai material untuk konstruksi berkelanjutan

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa FABA dapat dimanfaatkan dalam campuran beton, aspal, material timbunan tanah, serta lapis fondasi perkerasan jalan. Dalam konteks konstruksi berkelanjutan, penggunaan *fly ash* memberikan beberapa manfaat antara lain; mengurangi volume limbah B3, mengurangi penggunaan batu kapur alam dalam produksi semen, dan meningkatkan kinerja material konstruksi. Kementerian PUPR dan Direktorat Jenderal Bina Marga, berperan dalam penerapan kebijakan ini secara luas untuk proyek jalan dan jembatan, termasuk beton massa, beton memadat sendiri, bangunan pelengkap jalan, pekerjaan aspal, serta perbaikan tanah.

Peluang dan Tantangan Pemanfaatan FABA

Dengan dukungan regulasi serta hasil penelitian, pemanfaatan FABA dalam konstruksi jalan dan jembatan dapat ditingkatkan hingga 40%, seperti di negara maju. Potensi terbesar ada pada campuran beton, di mana substitusi 5% semen nasional dapat meningkatkan pemakaian FABA hingga 3,5 juta ton per tahun atau sekitar 40% dari total produksi FABA di Indonesia setiap tahunnya. Namun, terdapat beberapa tantangan dalam pemanfaatan FABA sebagai material konstruksi, antara lain:

1. Kualitas FABA sangat bergantung pada kualitas batubara dan metode pembakaran. Semakin tinggi kualitas batubara (dengan nilai abu dan sulfur yang rendah) serta semakin efisien proses pembakarannya, maka kualitas FABA yang dihasilkan juga semakin baik dan sesuai spesifikasi.
2. Jenis FABA yang dihasilkan oleh PLTU di berbagai daerah bervariasi, tergantung pada kualitas batubara dan tipe boiler yang digunakan. Penghasil FABA terbesar berada di Pulau Jawa.

3. Penggunaan jenis dan komposisi FABA yang tidak tepat dalam material konstruksi justru dapat menurunkan kinerja beton dan perkerasan aspal.

4. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai jumlah optimal FABA yang dapat digunakan untuk setiap jenis pekerjaan infrastruktur jalan dan jembatan. Batasan dan mekanisme penggunaannya perlu diatur dalam spesifikasi umum yang terbaru.

5. Biaya pengiriman FABA dapat menjadi mahal jika jarak antara pengguna dan penghasil FABA terlalu jauh, sehingga penggunaan FABA sering kali lebih mahal dibandingkan beton dengan semen murni. Oleh karena itu, diperlukan rantai pasok yang lebih efisien.

6. Komitmen yang kuat dari pengelola FABA, baik penghasil maupun pengguna, sangat diperlukan untuk mencegah penyalahgunaan, mengingat FABA masih tergolong limbah B3 kategori bahaya 2.

Pemanfaatan FABA merupakan langkah strategis dalam mewujudkan ekonomi sirkular, didukung oleh regulasi dan pedoman teknis dari Pemerintah melalui Kementerian PUPR dan Ditjen Bina Marga. Meskipun tergolong limbah B3, FABA memiliki potensi besar sebagai material konstruksi, terutama di sektor jalan dan jembatan. Dengan optimalisasi pemanfaatan dan pengelolaan yang tepat, FABA dapat menjadi solusi berkelanjutan yang mendukung efisiensi sumber daya serta pembangunan infrastruktur yang lebih ramah lingkungan.

Tabel 5. Potensi penggunaan FABA pada infrastruktur jalan dan jembatan

Item Pekerjaan	FABA		Semen	Batu Kapur
	FA (%)	BA (%)	(%)	(%)
Beton massa	≤ 25			
Beton memadat sendiri	≤ 35			
Bangunan pelengkap jalan (<i>paving block</i> , batako, kerb, patok pengarah, dan bangunan minor lainnya)	≤ 40	≤ 40	≥ 20	
Campuran aspal beton	≤ 7			
Perbaikan tanah				
- dengan semen	≤ 15		≥ 5	
- dengan batu kapur	≤ 25			≥ 5
Lapis fondasi perkerasan jalan				
- dengan semen	25-50	50-75	7-9	
- dengan batu kapur	50	50		≥ 6

GERBANG TOL BANYUDONO





Analisis Multikriteria Dalam Pemilihan Penyedia Jasa Dengan Metode E-Katalog

Oleh:

Iwan Susanto, Al Mufqy Zuliardy

Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Sulteng, Dirjen Bina Marga,
Kementerian PUPR, Republik Indonesia

Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah

Pengadaan barang/jasa yang dilaksanakan di lingkungan instansi pemerintah, baik pusat maupun daerah, merupakan sarana untuk mewujudkan visi dan menjalankan misi pemerintah. Kegiatan ini dianggap paling banyak menyerap anggaran yang ditetapkan oleh pemerintah melalui APBN, APBD Provinsi, ataupun APBD Kabupaten/Kota. Proses pengadaan barang dan jasa ini menjadi penggerak roda perekonomian.

Penyerapan anggaran melalui pengadaan barang dan jasa ini menjadi penting, sehingga proses pengadaan barang/jasa menjadi penentu keberhasilan proyek pemerintah. Pemerintah telah mengeluarkan Keputusan Presiden (Kepres) Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.

Kepres tersebut untuk memastikan pengadaan barang dan jasa berjalan sesuai prinsip-prinsip efisiensi, efektif, terbuka dan bersaing, transparansi, keadilan, serta akuntabel. Prinsip ini menjadi wujud *good governance* dalam memberikan pelayanan publik. Sayangnya, praktik Korupsi, Kolusi, dan Nepotisme (KKN) masih marak terjadi, bahkan pengadaan barang dan jasa menempati peringkat kedua dalam kasus KKN di Indonesia.

Salah satu dampak buruk dari sistem pengadaan yang bermasalah adalah banyaknya proyek konstruksi yang mangkrak. Penyebab umum adalah peserta tender menawarkan harga terlalu rendah untuk memenangkan proyek.

Akibatnya, kualitas pekerjaan menurun, bahkan beberapa proyek harus terhenti karena kontraktor atau perusahaan mengalami defisit.

Padahal dalam Standar Dokumen Pengadaan sudah dijelaskan bahwa harga penawaran yang terendah yang akan menang, dengan catatan jika penawar menawarkan harga di bawah 80% dari Harga Perkiraan Sendiri (HPS), wajib membuat jaminan pelaksanaan sebesar 5% dari nilai total HPS.

Namun, jika tidak bersedia maka akan dikenakan sanksi masuk dalam daftar hitam. Sistem evaluasi penawaran masih menjadi permasalahan dalam pengadaan jasa konstruksi karena beberapa panitia pengadaan masih menggunakan sistem nilai yang kurang valid dalam penentuan calon pemenang.

Permasalahan yang dikemukakan sebelumnya tidak terlepas dari faktor proses pengadaan yang masih konvensional dilakukan semua instansi pemerintah di seluruh Indonesia. Selama ini, pengadaan barang/jasa secara konvensional memiliki kelemahan, antara lain tidak adanya transparansi tentang pemasok potensial kepada unit pengadaan; kompetisi terbatas dan pengawasan ketat membuat pengadaan kurang efisien, memperlambat pengiriman, menaikkan biaya, serta meningkatkan harga barang/jasa.

Di beberapa negara, biaya administrasi bahkan melebihi harga produk/jasa; dan kurangnya efisiensi dan transparansi pengadaan pemerintah menghambat pembangunan, mengurangi efektivitas program, serta melemahkan produktivitas dan pertumbuhan yang seimbang.

Hasil survei Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK), tentang Integritas Sektor Publik tahun 2009 menunjukkan bahwa dari lima belas unit layanan, pengadaan barang/jasa pemerintah memiliki skor integritas terendah. Bahkan pengadaan barang/jasa pemerintah menempati peringkat kedua dalam kasus korupsi di Indonesia.

Pengadaan Barang/Jasa Elektronik

Berdasarkan kondisi dan kendala pengadaan barang/jasa secara konvensional dikeluarkan Perpres No.12 tahun 2021 tentang pengatur pengadaan barang/jasa, bahwa terdapat sistem Layanan Pengadaan Secara Elektronik (LPSE) atau *electronic-procurement (E-procurement)*.

E-procurement menggunakan pengelolaan teknologi informasi memfasilitasi pelaksanaan pengadaan barang / jasa secara elektronik. *E-procurement* memanfaatkan *online market place (E-marketplace)* yang terdiri dari E-Katalog, toko daring, dan pemilihan media untuk mempermudah transaksi.

E-Katalog lebih meningkatkan transparansi dan mempersingkat waktu proses siklus pengadaan. E-Katalog terbagi menjadi tiga jenis: Katalog Elektronik Nasional (oleh Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP)), Katalog Elektronik Sektorial (oleh Kementerian dan Lembaga), Katalog Elektronik Lokal (oleh Pemerintah Daerah).

Kementerian PUPR telah menerapkan E-Katalog untuk bidang ke-PU-an. Bahkan BPJN Sulawesi Tengah sudah mencoba melakukan lelang melalui E-Katalog pada beberapa paket preservasi jalan di tahun anggaran 2024.

E-Katalog Paket Preservasi Tinombo-Sinei-Ampibabo-Toboli TA. 2024

Salah satu paket yang menggunakan sistem E-Katalog adalah paket preservasi di Ruas Jalan Tinombo-Sinei-Ampibabo-Toboli TA. 2024 dengan pagu anggaran sebesar Rp.14,56 miliar. Dengan kondisi jalan yang sudah 98% mantap, 40,6% anggaran dialokasikan untuk pemeliharaan rutin jalan dan jembatan.

Sisanya digunakan untuk rehabilitasi 700 meter jalan, 8 jembatan, dan drainase di 5 lokasi. Sistem E-Katalog dipilih karena beberapa hal seperti, prosesnya lebih cepat dibandingkan sistem tender, memberi lebih banyak waktu pelaksanaan pekerjaan, serta menghindari risiko dana transisi jika terjadi bencana.



Gambar 1. Longsor dan Genangan di Awal Tahun 2024 yang Harus Segera Ditangani

Dalam artikel ini PPK 2.2 selaku pemegang kuasa pekerjaan mencoba menyusun artikel tentang cara melakukan proses pemilihan dengan e-katalog, alur kerja, dan proses analisa pemilihan penyedia jasa. Diharapkan artikel ini dapat menjadi panduan dalam proses e-katalog khususnya bidang jalan dan jembatan pada Bina Marga, Kementerian PUPR.

Proses Pelaksanaan E-Katalog

1. Rencana Umum Pengadaan (RUP)

Langkah pertama adalah penarikan kode RUP, yang didasarkan pada rencana kerja atau perencanaan kebutuhan. Selaras Peraturan Presiden nomor 16 tahun 2018 (dan seluruh perubahannya) pada pasal 22 ayat (3) bahwa RUP harus diumumkan setelah dilakukan penetapan alokasi anggaran belanja atau Rencana Kerja dan Anggaran Kementerian/ Lembaga (RKA-KL). RUP mencakup identitas pengguna anggaran, paket pekerjaan, lokasi, dan perkiraan biaya.



Gambar 2. Diagram Alir Permohonan RUP

Bila persyaratan sudah dipenuhi, kode RUP akan keluar paling lambat 1x24 jam hari kerja. Pada paket preservasi ini karena data yang dibutuhkan telah lengkap, nama kode RUP langsung diperoleh yaitu 46392428.

1. Kelengkapan Dokumen

Setelah diperoleh kode RUP paket dan sebelum melakukan proses pengadaan melalui sistem e-katalog, maka proses selanjutnya adalah menyusun kelengkapan dokumen e-katalog. Dokumen yang harus dilengkapi adalah sebagai berikut :

a) Pakta Intergritas

Berisi pernyataan bermaterai dari PPK untuk tidak KKN dalam melaksanakan pengadaan

b) Reviu Perkiraan Biaya (RPB)

Merupakan hasil reviu dari tim PPK, Kepala Satuan Kerja (Kasatker), tim perencanaan, serta tim balai terhadap harga satuan.

c) Kerangka Acuan Kerja

Merupakan rencana kerja yang berisikan maksud dan tujuan, lingkup dan lokasi pekerjaan, sumber pendanaan, waktu pelaksanaan, persyaratan kualifikasi, metodologi pelaksanaan, ketentuan pekerjaan, serta persyaratan personil.

d) Detailed Engineering Design (DED)

Merupakan gambar rencana pekerjaan yang akan dikerjakan.

2. Melakukan Identifikasi Penyedia Jasa

Identifikasi dilakukan terhadap penyedia jasa yang menyediakan item pekerjaan sesuai dengan kebutuhan. Pada Paket Preservasi Ruas Jalan Tinombo-Sinei-Ampibabo-Toboli TA 2024 terdapat dua jenis pekerjaan yaitu pekerjaan preservasi jalan dan pekerjaan preservasi jembatan.

Pemilihan penyedia akan masuk etalase produk preservasi jalan dan etalase produk preservasi jembatan. Etalase produk adalah pengelompokan dari kumpulan kategori, sub kategori, dan/atau produk dari barang/jasa yang tercantum pada E-Katalog.

Langkah-langkah identifikasi penyedia jasa di e-katalog adalah sebagai berikut :

a) Masuk ke *website* LPSE Kementerian PUPR yaitu <https://lpse.pu.go.id/eproc4/> sesuai Gambar 3.



Gambar 3. Website LPSE Kementerian PUPR

b) Kemudian login sebagai PPK dengan memilih item "non penyedia" selanjutnya masukan *user ID* dan *password* sesuai Gambar 4.



Gambar 4. Login PPK ke LPSE

c) Setelah berhasil login maka dilanjutkan klik item "Aplikasi *e-Procurement* Lainnya". Dilanjutkan masuk ke "Aplikasi E-Purchasing V.5" untuk masuk ke E-Katalog Sektoral di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Etalase Produk no 28 yaitu "Pekerjaan Preservasi Jalan Bidang Bina Marga" dan no 37 yaitu "Pekerjaan Preservasi Jembatan Bidang Bina Marga" dipilih untuk mencari item pekerjaan yang dibutuhkan.

d) Pada paket pekerjaan ini, item pekerjaan preservasi jalan yang dibutuhkan adalah sebanyak 14 item dan perservasi jembatan sebanyak 29 item, sehingga total item pekerjaan pada paket ini adalah 43 item pekerjaan.

e) Dilanjutkan pencarian lokasi pelaksanaan pekerjaan yang berisi pilihan kota/kabupaten pelaksanaan pekerjaan. Pada paket ini lokasi pekerjaan berada di Kabupaten Parigi Moutong sehingga kabupaten tersebut dipilih sebelum melakukan pemilihan terhadap item pekerjaan yang ditawarkan oleh penyedia jasa.

f) Pencarian item pekerjaan.

List item pekerjaan yang dibutuhkan menjadi acuan dalam mencari pekerjaan yang dibutuhkan, harga yang ditawarkan, dan nama penyedia jasa yang menawarkan produk pekerjaan. Pada tahap ini diperoleh beberapa penyedia jasa di Kabupaten Parigi Moutong yang memasang pekerjaan sesuai kebutuhan. Nama penyedia jasa, dan jumlah item pekerjaan yang sesuai kebutuhan akan menjadi data untuk melakukan analisis pemilihan.

3. Analisis Pemilihan Penyedia Jasa

Analisis ini dilakukan karena dalam pemilihan penyedia melalui sistem E-Katalog tidak hanya berdasarkan harga terendah, tetapi ada faktor lain agar penyedia yang terpilih mampu menyelesaikan pekerjaan dengan baik. Jenis analisis yang digunakan adalah metode analisis multikriteria dengan sistem pembobotan terhadap tingkat kepentingan dan korelasi pada paket pekerjaan ini. Analisa multikriteria mengevaluasi dan membandingkan berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria atau parameter yang berbeda. Metode ini sering digunakan dalam situasi dimana keputusan harus diambil dengan mempertimbangkan banyak faktor yang mungkin saling bertentangan.

Berdasarkan jenis pekerjaan yaitu preservasi jalan dan preservasi jembatan maka aspek/indikator dipilih adalah:

- a) Kelengkapan item pekerjaan (40%), penyedia jasa terpilih harus menyediakan produk pekerjaan yang dibutuhkan oleh PPK.
- b) Nilai total harga penawaran (30%), harga terendah menjadi salah satu acuan penting untuk memilih penyedia jasa.
- c) Jarak *Asphalt Mixing Plant* (AMP) (20%), jarak AMP ke lokasi pekerjaan berpengaruh karena ada pekerjaan aspal yaitu Lapis Aus Asbuton AC-WC pada paket pekerjaan ini. Nilai bobot yang diberikan ke indikator jarak AMP lebih kecil dari indikator kelengkapan item pekerjaan dan indikator nilai total penawaran karena volume pekerjaan kecil yaitu 398 ton atau hanya sepanjang 700 m.

d) Pengalaman di pekerjaan pemerintah (10%), indikator pengalaman/kinerja di pemerintah menjadi salah satu acuan karena penyedia jasa yang akan dipilih harus tidak sedang dikenakan sanksi berupa larangan mengikuti pengadaan barang dan jasa atau daftar hitam yang tertuang dalam *website* LPSE.

Daftar aspek/indikator dan bobot setiap indikator yang akan dianalisis pada paket ini adalah sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Bobot Aspek/Indikator Penilaian Penyedia Jasa

No	Aspek/Indikator	Bobot (%)
1	Kelengkapan item pekerjaan	40
2	Nilai Total Penawaran	30
3	Jarak AMP	20
4	Pengalaman/Kinerja di pemerintah	10

Setelah bobot setiap indikator ditetapkan, langkah berikutnya adalah menyusun sistem skoring sebagai acuan penilaian. Sistem skoring digunakan untuk mengevaluasi, mengukur, atau mengkategorikan sesuatu dengan memberikan nilai atau skor berdasarkan kriteria tertentu.

Skor pada analisis paket ini ditentukan dengan sistem rendah ke tinggi, yang berarti nilai rendah untuk kriteria tidak baik dan sebaliknya.

Penyedia jasa dengan skor tinggi mempunyai kriteria yang lebih baik atau lebih kompeten dibandingkan dengan nilai yang lebih rendah.

Pada aspek kelengkapan item pekerjaan, skor 1 diberikan jika tidak lengkap, sedangkan skor 5 untuk kelengkapan penuh. Indikator lain, seperti harga total, jarak AMP, dan

pengalaman, diberi skor 1 hingga 5 sesuai kredibilitas penyedia jasa.

Sistem skoring yang digunakan pada paket ini adalah sesuai dengan Tabel 2.

Tabel 2. Skoring Pembobotan Nilai Penyedia Jasa

No	Aspek/Indikator	Skor	Kriteria Nilai
1	Kelengkapan Item Pekerjaan (40%)	1	Tidak menyediakan/menawarkan item pekerjaan yang dibutuhkan (walaupun hanya kurang 1 item pekerjaan)
		5	Dapat menyediakan/menawarkan semua item pekerjaan
2	Harga Total (30%)	1	Total harga terendah kelima
		2	Total harga terendah keempat
		3	Total harga terendah ketiga
		4	Total harga terendah kedua
		5	Total harga terendah pertama
3	Jarak AMP (20%)	1	Jarak AMP >70 KM/Paling jauh dari lokasi pekerjaan
		2	Jarak AMP 60-70 KM dari lokasi pekerjaan
		3	Jarak AMP 50-60 KM dari lokasi pekerjaan
		4	Jarak AMP 40-50 KM dari lokasi pekerjaan
		5	Jarak AMP < 40 KM/paling dekat dengan lokasi pekerjaan
4	Pengalaman/Kinerja di Pemerintah (10%)	1	Pernah terjadi pemutusan kontrak oleh PPK
		2	Penyedia sulit diajak berdiskusi dalam penyelesaian pekerjaan
		3	Penyelesaian pekerjaan terlambat melebihi dari 50 hari kerja
		4	Penyelesaian pekerjaan terlambat kurang dari 50 hari kerja
		5	Penyelesaian pekerjaan sesuai dengan waktu dan 100% hasil sesuai ketentuan kontrak

a) Poin Indikator Kelengkapan Item

Ketiga penyedia jasa yang lengkap menawarkan produk sesuai kebutuhan di paket ini adalah PT. Bina Karsyam, PT. Karya Etam Bersama, dan CV. Sambulugana. Berdasarkan sistem skoring pada Tabel 2 maka ketiga penyedia jasa tersebut mendapat skor 5 poin.

b) Poin Indikator Harga Total

Indikator ini membandingkan nilai total penawaran dari penyedia jasa yang lengkap menawarkan item pekerjaan. Sebelum melakukan skoring pada indikator harga total, perlu juga dilakukan analisis perbandingan harga penawaran setiap item pekerjaan dari tiap penyedia jasa dengan harga HPS, serta nilai pagu anggaran. Pagu anggaran di tahun 2024 pada paket ini adalah Rp.14.650.080.000. Nilai total penawaran serta harga tiap item pekerjaan tidak boleh lebih rendah dari 80%. Hal ini karena akan berpengaruh terhadap kewajaran harga. Ketiga penyedia jasa dalam paket ini menawarkan harga di atas 80%. Nilai harga total setiap penyedia jasa adalah sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Harga Total Penawaran Penyedia Jasa

No	Penyedia Jasa	Harga Total (Rp.)
1	PT. Bina Karsyam	14,063,901,000
2	PT. Karya Etam Bersama	14,139,622,000
3	CV. Sambulugana	14,162,169,000

Berdasarkan sistem skoring pada Tabel 2 maka karena PT. Bina Karsyam menawarkan harga paling rendah sehingga memperoleh skor 5 poin, selanjutnya PT. Karya Etam Bersama memperoleh skor 4 poin, dan CV. Sambulugana memperoleh skor 3 poin.

c) Poin Indikator Jarak AMP

Jarak AMP memengaruhi pekerjaan aspal karena berpengaruh pada penurunan temperatur. Semakin dekat AMP, semakin kecil penurunan suhu. Daftar jarak AMP ada di Tabel 4.

Tabel 4. Daftar Jarak AMP ke Lokasi Pekerjaan

No	Penyedia Jasa	Jarak AMP ke Lokasi Pekerjaan (KM)
1	PT. Bina Karsyam	74
2	PT. Karya Etam Bersama	168
3	CV. Sambulugana	154

Berdasarkan penilaian indikator jarak AMP ketiga penyedia jasa memiliki jarak AMP lebih dari 70km. Maka sesuai Tabel 2 ketiga penyedia jasa tersebut mendapatkan 1 poin.

d) Poin Indikator Pengalaman

Pengalaman atau kinerja penyedia jasa di instansi pemerintah dapat dicek melalui *website* LPSE (<https://lpse.pu.go.id/eproc4>) dengan memilih menu daftar hitam, lalu memasukkan nama penyedia jasa.



Hasil pengecekan menunjukkan PT. Bina Karsyam, PT. Karya Etam Bersama, dan CV. Sambulugana mendapat skor 5 karena tidak terdaftar dalam daftar hitam LPSE Kementerian PUPR.

Setelah pemberian skor dan bobot untuk empat indikator, dilakukan perhitungan nilai masing-masing menggunakan rumus sesuai Persamaan 1.

$Nilai = Bobot \times Skor \dots\dots\dots Persamaan 1$

Jika telah mendapatkan nilai dari tiap indikator, maka akan dilanjutkan dengan perhitungan total poin sesuai dengan Persamaan 2.

$Total Poin = Nilai indikator kelengkapan item pekerjaan + nilai indikator harga total + nilai indikator jarak AMP + nilai indikator pengalaman di pemerintah.....(Persamaan 2)$. Berdasarkan perhitungan dengan Persamaan 2 tersebut akan didapatkan peringkat penyedia jasa berdasarkan nilai tertinggi sesuai Tabel 5.

Tabel 5. Peringkat Penyedia Jasa Berdasarkan Analisis

No	Aspek/ Indikator	Bobot %	PT. Bina Karsyam		PT. Karya Etam Bersama		CV. Sambulugana	
			Skor	Nilai	Skor	Nilai	Skor	Nilai
1	Kelengkapan Item Perkerjaan	40	5	2	5	2	5	2
2	Harga Total	30	5	1,5	4	1,2	3	1,9
3	Jarak AMP	20	1	0,2	1	0,2	1	0,2
4	Pengalaman Kerja di pemerintah	10	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Nilai Total			4,2		3,9		3,6	
Peringkat/Prioritas Pemenang			1		2		3	

Sesuai Tabel 5 maka PT. Bina Karsyam menjadi peringkat pertama sebagai pemenang pada Paket Preservasi Jalan Ruas Tinombo-Sinei-Ampibabo-Toboli TA. 2024, dan akan dilanjutkan ke tahap pemeriksaan keabsahan berkas. Jika berkasnya tidak sah, maka kemenangan dialihkan ke peringkat berikutnya.

4. Penyampaian Hasil Analisis

Setelah melakukan analisa multikriteria dan menemukan calon pemenang, maka dibuat berita acara pemilihan calon penyedia jasa untuk dilanjutkan ke tahap pendampingan Kasatker. Pendampingan pada paket ini oleh Kasatker karena nilai pagu pekerjaan kurang dari 15 miliar. Isi berita acara adalah antara lain:

- a) Data Umum Paket, yaitu berisi nama paket, kode RUP, lokasi pekerjaan, nilai pagu, nilai HPS, dan kualifikasi pekerjaan.
- b) Data item pekerjaan, yang berisi harga satuan, kode produk, satuan, dan ruang lingkup.
- c) Daftar penyedia jasa yang menawarkan produk di Kabupaten Parigi Moutong sesuai kebutuhan.
- d) Perbandingan harga satuan dan total harga penawaran tiap penyedia jasa.

Berita acara dan surat pemberitahuan diserahkan ke Kasatker, untuk memperoleh izin pelaksanaan proses E-Katalog sebelum dilakukan negosiasi harga.

5. Negosiasi Harga

Ketika calon penyedia jasa memenuhi persyaratan dalam KAK dan telah mendapat izin dari Kasatker, PPK dapat melakukan negosiasi harga secara online dengan penyedia jasa hingga tercapai kesepakatan.

Hasil negosiasi menetapkan nilai preservasi jembatan sebesar Rp7.532.887.959 dan preservasi jalan Rp6.133.906.414, sehingga total kontrak menjadi Rp13.666.794.575 dari pagu Rp14.650.080.000. Setelah itu, PPK dan penyedia jasa menandatangani surat pesanan sebelum kontrak final. Langkah selanjutnya adalah pengiriman surat pesanan untuk ditanda tangani PPK dan penyedia jasa, sebelum dilakukan tanda tangan kontrak.

Penandatanganan kontrak dilaksanakan pada tanggal 23 Januari 2024 dengan nomor kontrak HK 0201/SP-PREV-TSAT/Bb14.6.2/18. Proses E-Katalog pada paket ini, dimulai dari pertengahan bulan Desember 2023, lebih cepat dibandingkan lelang konvensional. Penandatanganan kontrak awal tahun menguntungkan karena memungkinkan waktu pengerjaan lebih panjang, sehingga proyek dapat berjalan optimal, menjamin kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Berdasarkan kajian dalam artikel ini, pemilihan penyedia jasa melalui e-katalog memungkinkan PPK langsung memilih penyedia dengan izin Kasatker. Proses ini lebih ekonomis karena melibatkan lebih sedikit personel dibandingkan lelang konvensional. Waktu pelaksanaan lebih singkat, memungkinkan pekerjaan dimulai awal tahun. Analisis multikriteria menjadi acuan dalam menentukan pemenang, dengan indikator, nilai, dan kriteria disesuaikan dengan jenis pekerjaan.




KEMENTERIAN
PEKERJAAN UMUM

Bineka



Jembatan Pandasimo

Dokumentasi Kompu Direktorat Jenderal Bina Marga



**"Bermimpilah setinggi ujung
langit, jika engkau jatuh,
engkau akan jatuh di antara
bintang - bintang."**

- Soekarno -



Dr. Nyoman Suaryana: Dari Laboratorium ke Kebijakan Perjalanan Seorang Insinyur Jalan

Oleh:

Alfa Adib Ash Shiddiqi

Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Riau, Direktorat Jenderal Bina Marga

54



Sobat Bineka, pernahkah kita berpikir tentang siapa sosok di balik jalan-jalan yang kita lalui setiap hari?

Infrastruktur jalan yang kokoh dan tahan lama tidak muncul begitu saja. Di balik itu semua, ada orang-orang yang mendedikasikan hidup mereka untuk memastikan jalan dan jembatan di Indonesia bertahan dalam berbagai kondisi. Salah satu tokoh di bidang

ini adalah Dr. Nyoman Suaryana. Sebagai seorang insinyur yang telah mengabdikan lebih dari tiga dekade hidupnya di dunia teknik sipil, Dr. Nyoman bukan sekadar birokrat biasa.

Beliau adalah kombinasi unik antara peneliti brilian di bidang perkerasan jalan dan regulator andal yang memastikan pembangunan infrastruktur mengikuti standar terbaik.

Dari laboratorium penelitian hingga meja kebijakan, perjalanan kariernya menjadi inspirasi bagi siapa saja yang ingin berkontribusi bagi negeri.

Perjalanan Pendidikan sebagai Fondasi Profesional dalam Membangun Infrastruktur

Lahir enam dekade lalu di Buleleng, Bali, Dr. Nyoman tumbuh di tengah keterbatasan infrastruktur yang menghambat mobilitas masyarakat. Kondisi ini menumbuhkan kesadaran bahwa infrastruktur yang baik bukan hanya soal jalan raya, tetapi juga tentang konektivitas dan pembangunan sosial-ekonomi. Kecintaannya pada dunia konstruksi membawanya mengambil studi di Institut Teknologi Bandung (ITB) jurusan Teknik Sipil. Di sana, beliau semakin tertarik dengan teknik membangun jalan dan jembatan,

yang membawanya menempuh pendidikan lanjut di bidang Sistem dan Teknik Jalan Raya pada kampus yang sama. Tak berhenti di sana, Dr. Nyoman juga meraih gelar doktor di bidang Teknik Sipil ITB,

membuktikan dedikasinya terhadap ilmu pengetahuan sebagai bagian tidak terpisahkan dari perjalanan kariernya.

Selain pendidikan formal, beliau terus mengasah kemampuannya lewat berbagai pelatihan dan seminar internasional, mulai dari Paris hingga Osaka. Pengalaman tersebut memperkaya wawasan dan membangun dasar ilmiah yang menjadi pedoman dalam perumusan kebijakan infrastruktur jalan nasional.

Dua Peran: Peneliti dan Regulator yang Saling Melengkapi

Jika ada dua kata yang bisa menggambarkan perjalanan karier Dr. Nyoman, itu adalah *ilmu* dan *implementasi*.

1. Sang Ilmuwan Jalan Raya

Sebelum menjadi Direktur Preservasi Jalan, Dr. Nyoman lebih dulu menekuni bidang penelitian di Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) Jalan dan Jembatan hingga mencapai jenjang Peneliti Utama. Dalam periode ini, beliau terlibat dalam berbagai riset mengenai teknologi perkerasan jalan, metode pemeliharaan, dan solusi inovatif untuk meningkatkan daya tahan infrastruktur jalan di Indonesia.



Dr. Nyoman di Laboratorium Bahan Perkerasan (2017)

Salah satu kontribusinya adalah mengembangkan standar teknis perkerasan jalan yang kini menjadi acuan dalam banyak proyek nasional. Banyak hasil penelitiannya membantu merumuskan cara terbaik agar jalan lebih tahan lama, lebih kuat, dan lebih efisien dalam perawatannya.

Pada tahun 2013, beliau pernah menyusun buku tentang *Perpetual/Long Lasting Asphalt Pavement* yang memperkenalkan perkerasan beraspal yang dirancang dapat bertahan hingga 50 tahun tanpa rekonstruksi, sehingga mengurangi biaya siklus hidup (*life-cycle costs*) dan dampak lingkungan. Beliau juga salah satu peneliti yang membidani lahirnya Loka Litbang Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara.

Hingga kini, Google Scholar mencatat lebih dari 56 artikel yang beliau tulis dengan ratusan sitasi.

2. Sang Regulator Pembina Infrastruktur Jalan Indonesia

Setelah sukses di bidang penelitian, Dr. Nyoman kemudian beralih ke bidang kebijakan dan regulasi.

Kini, sebagai Direktur Preservasi Jalan dan Jembatan Wilayah I di Ditjen Bina Marga, beliau bertanggung jawab memastikan jalan dan jembatan yang sudah dibangun tetap dalam kondisi terbaik.

Tugasnya bukan sekadar memperbaiki jalan berlubang atau mengganti aspal yang rusak, tetapi juga membuat kebijakan strategis, mengalokasikan anggaran secara efektif,

dan memastikan proyek berjalan sesuai standar terbaik. Berbekal pengalamannya sebagai peneliti, Dr. Nyoman membawa pendekatan berbasis data dalam setiap kebijakan yang diambil.

Masa Depan Infrastruktur Indonesia

Sebagai seseorang yang sudah puluhan tahun berkarier di bidang infrastruktur, Dr. Nyoman memiliki pandangan menarik tentang masa depan jalan dan jembatan di Indonesia.



Dr. Nyoman mendampingi kunjungan Presiden di Bengkulu (2023)

Salah satu inovasi beliau adalah menerapkan metode peratingan kualitas konstruksi jalan yang melingkupi aspek personil, hasil teknis, dan administratif.

1. Mengadopsi Teknologi Terkini untuk Penerapan Infrastruktur Berkelanjutan

Dr. Nyoman menyebutkan beberapa teknologi yang akan berpengaruh besar di masa depan, “Beberapa tren teknologi yang menurut saya akan sangat berpengaruh ke depan adalah:

Satu, Pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM) dalam desain dan



konstruksi jalan. Dengan BIM, kita bisa memvisualisasikan proyek infrastruktur secara lebih akurat sejak tahap perencanaan, sehingga dapat mengurangi kesalahan desain dan pemborosan biaya.

Kedua, Sistem pemantauan jalan berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan sensor yang terpasang secara real time, kita bisa mendapatkan data *real-time* mengenai kondisi perkerasan, getaran lalu lintas, hingga prediksi keausan permukaan jalan.

Ketiga, Penggunaan material inovatif seperti aspal modifikasi berbasis limbah plastik atau karet alam. Teknologi ini memungkinkan kita membangun jalan yang lebih tahan lama sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

Keempat, Metode konstruksi yang lebih efisien, seperti perkerasan modular atau beton pracetak.

Ini dapat mempercepat proses pembangunan sekaligus meningkatkan kualitas konstruksi.” paparnya.

Meski begitu, beliau juga menekankan bahwa untuk menerapkan teknologi ini secara luas, dibutuhkan SDM yang siap beradaptasi serta regulasi yang fleksibel untuk mendukung inovasi. “Namun, untuk bisa benar-benar menerapkan teknologi ini secara luas, kita membutuhkan SDM yang siap beradaptasi dengan teknologi baru serta regulasi yang fleksibel dalam mengakomodasi inovasi-inovasi ini.” terangnya.

2. Inovasi dalam Perkerasan Jalan untuk Daerah Rural

Saat ini, Dr. Nyoman tengah menyusun buku tentang perkerasan jalan di daerah rural dengan volume lalu lintas rendah. Infrastruktur di daerah terpencil sering kali kurang mendapat perhatian, padahal konektivitas di sana sangat penting untuk akses ekonomi dan sosial.

Seperti yang dikutip dari wawancara bersama Dr. Nyoman, “Salah satu alasan saya tertarik dengan topik ini adalah karena infrastruktur di daerah terpencil sering kali tidak mendapat perhatian yang cukup, padahal jalan yang baik sangat krusial untuk menghubungkan desa-desa dengan pusat ekonomi dan layanan publik.

Untuk menjawab tantangan ini, desain jalan yang ideal untuk daerah rural sebaiknya menggunakan material lokal yang dimodifikasi agar lebih tahan lama.

Beberapa solusi yang bisa diterapkan misalnya

1. pemanfaatan tanah lokal yang distabilisasi dengan semen atau kapur untuk fondasi jalan,
2. Penggunaan aspal alam sebagai alternatif pengikat yang lebih terjangkau,
3. Aplikasi geotextile atau material perkuatan lain untuk meningkatkan stabilitas tanah dasar.

Selain itu, saya ingin menyoroiti bahwa pemeliharaan jalan di daerah rural harus lebih berfokus pada metode preventif dibandingkan metode reaktif.

- Jangan hanya fokus pada teori, tetapi pahami kondisi lapangan. Desain yang hebat pun harus sesuai dengan realitas di lapangan.



Dr. Nyoman memberikan arahan penanganan longsoran Tj. Alai, Riau (2024)

Dengan pendekatan ini, kita bisa memperpanjang umur jalan tanpa harus mengeluarkan biaya besar untuk rehabilitasi besar-besaran.” papar beliau.

Pesan untuk Generasi Muda

Sebagai seseorang yang telah mendedikasikan hidupnya untuk teknologi jalan, Dr. Nyoman menyampaikan pesan bagi generasi muda yang ingin berkontribusi dalam pembangunan infrastruktur Indonesia:

- Terus belajar dan mengikuti perkembangan teknologi. Dunia infrastruktur jalan terus berkembang, dan insinyur masa depan harus siap beradaptasi dengan teknologi baru.

- Jadilah insinyur yang berpikir inovatif. Jangan takut mencoba solusi baru, terutama yang lebih efisien dan ramah lingkungan.
- Pahami bahwa infrastruktur jalan bukan hanya soal teknik, tetapi juga soal kebijakan dan manajemen.
- Selalu memiliki semangat pengabdian. Infrastruktur adalah investasi jangka panjang bagi bangsa.

Pesan ini menjadi pengingat bahwa membangun jalan bukan sekadar merancang konstruksi, tetapi juga merancang masa depan yang lebih baik bagi Indonesia.



Jalan Panjang Menuju Infrastruktur Unggul

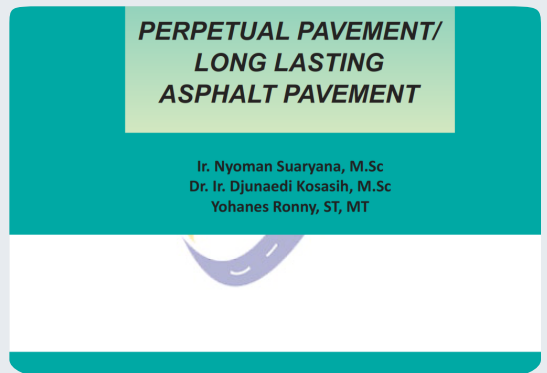


Dr. Nyoman Suaryana adalah bukti bahwa membangun negeri bukan hanya tugas politisi atau pengusaha. Di balik setiap ruas jalan yang kita lalui, ada insinyur-insinyur hebat yang bekerja keras memastikan infrastruktur tetap aman, kuat, dan berkualitas..

Dari laboratorium penelitian hingga meja kebijakan, beliau terus berjuang demi terciptanya jalan yang lebih baik bagi Indonesia.

Tantangan ke depan mungkin masih banyak, tetapi selama ada sosok seperti beliau, masa depan infrastruktur yang tangguh akan selalu terbuka.

Jadi, jika suatu hari Anda berkendara di jalanan yang mulus dan nyaman, ingatlah bahwa di balik itu ada dedikasi tanpa henti dari para insinyur . Salah satunya adalah Dr. Nyoman Suaryana.



Buku Perkerasan Beton untuk Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah dan Buku Perpetual Pavement/Long Lasting Asphalt Pavement

Dunia infrastruktur jalan terus berkembang, dan insinyur masa depan harus siap beradaptasi dengan teknologi baru.







Konstruksi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan pada Draft Spesifikasi Umum Bina Marga 2023

oleh:

Setyo Hardono, ST. MT, Anne Savitri

Pusbangkom JPW, BPJN Sulawesi Utara

62

Ancaman Perubahan Iklim ke Konstruksi Berkelanjutan

Hampir setiap hari kita membaca dan mendengar berita tentang bencana dahsyat yang terjadi di berbagai belahan dunia. Salah satu yang terbaru adalah banjir bandang di Chiva, Valencia, Spanyol, pada tanggal 29-30 Oktober 2024 lalu. AEMET, Badan Cuaca Spanyol, mencatat pada hari naas tersebut, curah hujan terjadi selama delapan jam, yang setara dengan curah hujan Spanyol selama satu tahun. Para ilmuwan menyatakan bahwa suhu bumi saat ini 1,3-1,45 derajat celsius lebih hangat dibandingkan pada tahun 1800-an.

Keprihatinan global terhadap potensi dampak yang dapat sangat membahayakan keberlangsungan kehidupan di dunia, mendorong lahirnya Protokol Kyoto, sebuah perjanjian internasional yang mengatur upaya negara-negara industri dalam mengurangi

emisi gas rumah kaca (GRK) dan menjaga konsentrasinya pada batas aman. Indonesia telah meratifikasi Protokol Kyoto melalui UU Nomor 6 Tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), serta terbaru ratifikasi Paris Agreement melalui UU Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement terhadap UNFCCC.

Kepedulian Indonesia terhadap perubahan iklim menjadi penting karena perlu pelibatan seluruh masyarakat dan pemangku kepentingan. Setiap orang termasuk pemangku kepentingan perlu diberikan pemahaman dan langkah-langkah mengatasi perubahan iklim melalui berbagai upaya yang berkelanjutan.

Upaya berkelanjutan, seperti mitigasi, pencegahan, dan adaptasi, diperlukan untuk menghadapi dampak perubahan iklim yang menghambat, merusak, dan menghancurkan.

Kementerian PUPR telah merespon terjadinya perubahan iklim melalui aturan-aturan dalam Spesifikasi Teknis Pekerjaan Jalan dan Jembatan, khususnya pada penggunaan material pekerjaan jalan dan jembatan yang berkelanjutan. Berdasarkan Permen PUPR Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan, konstruksi berkelanjutan adalah sebuah pendekatan dalam melaksanakan rangkaian kegiatan yang diperlukan untuk menciptakan suatu fasilitas fisik yang memenuhi tujuan ekonomi, sosial, dan lingkungan pada saat ini dan pada masa yang akan datang. Pasal 3 ayat (2) menetapkan tiga pilar dasar konstruksi berkelanjutan, yaitu:

- 1) secara ekonomi layak dan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat,
- 2) menjaga pelestarian lingkungan, dan
- 3) mengurangi disparitas sosial masyarakat.

Kelayakan ekonomi berarti memberikan manfaat ekonomi bagi semua pihak dan mendorong peningkatan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

Pelestarian lingkungan bertujuan menjaga daya dukung dan daya tampung lingkungan, memanfaatkan sumber daya secara efisien, dan meminimalkan dampak negatif. Sementara, pengurangan disparitas sosial masyarakat bertujuan mengurangi kesenjangan sosial masyarakat secara menyeluruh.

Prinsip berkelanjutan meliputi:

- 1) kesamaan tujuan, pemahaman, serta rencana tindak;
- 2) pemenuhan standar keamanan, keselamatan, kesehatan, dan keberlanjutan;
- 3) pengurangan sumber daya, berupa lahan, material, air, sumber daya alam, dan sumber daya manusia;
- 4) pengurangan timbulan limbah fisik dan non fisik;
- 5) penggunaan kembali sumber daya yang telah digunakan;
- 6) penggunaan sumber daya hasil siklus ulang;
- 7) perlindungan dan pengelolaan terhadap lingkungan hidup melalui upaya pelestarian;
- 8) mitigasi risiko keselamatan, kesehatan, perubahan iklim, dan bencana;
- 9) orientasi kepada siklus hidup;
- 10) orientasi kepada pencapaian mutu yang diinginkan;
- 11) inovasi teknologi untuk perbaikan yang berlanjut, dan
- 12) dukungan kelembagaan, kepemimpinan, dan manajemen dalam implementasi. Seluruh prinsip ini harus diterapkan dengan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi.

Penyelenggaraan konstruksi berlanjut dilaksanakan pada tahapan:

- 1) Perencanaan umum;
- 2) Pemrograman; dan
- 3) Pelaksanaan konsultasi konstruksi dan atau pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

Keseluruhannya dilakukan dengan memperhatikan prinsip konstruksi ramping (*lean construction*) dan penggunaan teknologi pemodelan pembangunan informasi (*Building Information Modelling/BIM*). Pentingnya persiapan menghadapi perubahan iklim, seperti bencana, banjir, badai, tanah longsor, suhu yang semakin tinggi, dan naiknya permukaan air, mendorong adanya kebijakan untuk mengadopsi perubahan iklim. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengintegrasikan perubahan iklim dalam spesifikasi teknis, sesuai dengan Protokol Kyoto yang telah diratifikasi melalui UU No. 6 Tahun 1994.

Teknologi Material Terkait Berkelanjutan

Teknologi material berkelanjutan yang telah dihasilkan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Kementerian PUPR, dan telah diterapkan di lapangan diantaranya adalah:

1. Beton Tanpa Semen Portland
2. Beton Dengan Sedikit Semen Portland
3. Campuran Aspal Hangat
4. Campuran Aspal Plastik
5. Perkerasan Aspal Daur Ulang
6. Teknologi Pemanfaatan Tailing
7. Beton Daur Ulang

Beton Tanpa Semen Portland (Beton TSP)

Beton TSP atau geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada 1978 sebagai pengikat mineral dengan komposisi mirip zeolit, tetapi memiliki mikrostruktur amorf atau kristal. Bentuknya bergantung pada suhu kondensasi: amorf terbentuk pada 20–90°C, sedangkan kristal pada 150–200°C. Geopolimer terbentuk melalui reaksi alumina-silikat oksida dengan alkali polisilikat, menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Material kaya SiO_2 dan Al_2O_3 dapat disintesis menggunakan aktivator alkali.

Material geopolimer dan semen memiliki kesamaan, yaitu keduanya tahan air setelah mengeras. Ini menunjukkan bahwa geopolimer dapat menggantikan semen Portland. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dalam jumlah besar terdapat pada *fly ash* (FA), yang sebagian besar berasal dari PLTU batu bara. Beton tanpa semen Portland (Beton TSP) dapat dibuat menggunakan FA, sehingga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca karena memanfaatkan limbah PLTU dan tidak menggunakan semen Portland.

Beton TSP atau geopolimer dibuat dari FA yang kaya silika dan aluminium, serta larutan aktivator seperti NaOH atau KOH dan Na_2SiO_3 atau K_2SiO_3 . Beton ini mengikat pada suhu kamar, tidak beracun, minim *bleeding*, serta memiliki waktu pengerjaan lebih lama. Selain itu, beton TSP bersifat kedap air, tahan panas, serta lebih kuat dibanding beton konvensional, menjadikannya alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi.



Gambar 1. Uji Coba Balok Beton TSP
Sumber: Rulli Ranastra

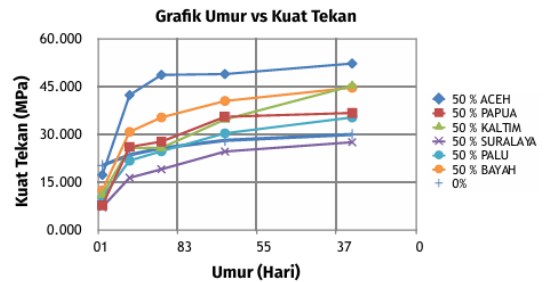


Gambar 2. Uji Coba Beton TSP untuk Jalan Beton
Sumber: Bambang Daryoso

Beton dengan Sedikit Semen Portland

Beton dengan sedikit semen Portland (Beton SSP) menjadi solusi dengan mengganti sebagian semen Portland dengan material pozzolan seperti FA. Penelitian Pusjatan menunjukkan beton struktural dari beton SSP dapat menggantikan hingga 50% semen Portland.

Bahkan kuat tekan yang diperoleh lebih besar dari beton tanpa menggunakan FA, (Gambar 3). Penggunaan FA sampai 50% ini berpotensi menghemat sumber daya alam secara signifikan.



Gambar 3. Perkembangan kuat tekan beton SSP

Campuran Aspal Hangat

Suhu pemanasan di *Asphalt Mixing Plant* (AMP) pada campuran *Hot Mix Asphalt* (HMA) sangat tinggi (170°C), termasuk suhu saat penghamparan (120 °C). Tantangan ini sering kali menyebabkan kendala di lapangan dan berisiko menurunkan kinerja campuran aspal.

Dalam upaya pembangunan berkelanjutan, termasuk penghematan bahan bangunan dan solusi atas permasalahan suhu, *Warm Mix Asphalt* (WMA) menjadi alternatif. Teknologi WMA memungkinkan penurunan suhu hingga 30°C tanpa mengurangi kinerja campuran, sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan. Berikut tabel perbandingan antara HMA dan WMA.

Tabel 1. Perbandingan Suhu Campuran HMA dan WMA

Temperatur (°C)	Aspal pen 60	
	HMA	WMA
Pencampuran	150 - 160	120 - 130
Pemadatan	130 - 140	110 - 116

Sedangkan temperatur khusus campuran WMA Zeolit pada masing-masing tahapan pelaksanaan (Tabel 2).

Tabel 2. Temperatur Pelaksanaan WMA (Aspal tipe I pen 60 + Zeolit)

Tahapan Pelaksanaan	Temperatur (°C)
Pencampuran benda uji Marshall	128 ± 2
Pemadatan benda uji Marshall	115 ± 2
Pencampuran	130 - 135
Pemadatan awal	110 - 120
Pemadatan antara	90 - 115
Pemadatan akhir	80 - 100

Keuntungan penggunaan Warm Mix Asphalt (WMA) meliputi efisiensi energi dan peningkatan kualitas campuran. WMA dapat menurunkan temperatur pencampuran hingga 30°C, sehingga menghemat bahan bakar hingga 30% dan mengurangi emisi gas seperti CO₂ (-32%), CO (-18%), SO_x (-24%), dan NO_x (-33%). Selain itu, suhu pemanasan yang lebih rendah mengurangi oksidasi aspal, sehingga mengurangi risiko retak dan meningkatkan daya tahan terhadap kerusakan. Campuran ini juga lebih awet, memiliki ketahanan lebih baik terhadap air

karena mengandung anti-stripping, serta lebih tahan terhadap alur dibandingkan campuran beraspal panas lainnya.

Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 6.4 Campuran Aspal Hangat, Aspal hangat menurut spesifikasi tersebut dapat menggunakan bahan tambah *zeolit* atau *wax* (parafin) yang bukan turunan dari minyak bumi. Suhu agregat pada *pugmil* hanya mencapai 130 °C lebih rendah dibandingkan HMA yang mencapai 160 °C. Namun, penggunaan aspal hangat ini sudah tidak diatur lagi dalam Draft Spesifikasi 2023.

Campuran Aspal Plastik

Campuran aspal plastik adalah aspal yang mengandung plastik (kantong plastik atau LDPE dalam bentuk cacahan). Imbah plastik merupakan bahan tak terbarukan yang dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Menurut The National Plastic Action Partnership (NPAP) tahun 2021, Indonesia menghasilkan 4,8 juta ton sampah plastik yang tidak terkelola dengan baik setiap tahun. Sebagian besar dibakar di ruang terbuka (48%), dibuang ke tempat pembuangan sampah tanpa pengelolaan layak (13%), sementara sisanya mencemari saluran air dan laut.



Gambar 4. Sampah Dibuang Di Jalanan

Sumber: <https://www.jawapos.com/nasional>

Campuran aspal plastik dibuat dengan mencampurkan agregat panas (di AMP) dengan plastik yang telah disortir dan dicacah menjadi *polymer coated agregat* (PCA). PCA kemudian dicampur dengan aspal panas menghasilkan campuran aspal plastik dan siap dihampar. Proses tersebut secara ringkas disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 5. Proses Pembuatan Aspal Plastik
 Sumber: <https://binamarga.pu.go.id/balai-bahan-jalan/>

Plastik yang digunakan untuk campuran aspal sebanyak 4 - 6 % dari berat aspal. Jika dalam *jobmix* menghasilkan kadar aspal 5,6 kg per 1 ton aspal panas, maka kebutuhan plastik (5%) adalah 2,8 kg plastik per 1 ton aspal panas. Penggunaan plastik ini dapat membantu mengatasi masalah sampah plastik yang belum sepenuhnya terkelola. Selain itu, secara kinerja perkerasan jalan, aspal plastik memiliki ketahanan lebih baik terhadap deformasi dan ketahanan lelah (*fatigue*). Penerapan aspal plastik telah dilakukan di beberapa proyek jalan.

Perkerasan Aspal Daur Ulang dengan RAP

Kondisi perkerasan lentur akan menurun seiring waktu, baik kerusakan setempat maupun bersifat struktural.

Rehabilitasi jalan diperlukan untuk mengembalikan kekuatan perkerasan dan mempertahankan geometrik jalan. Proses ini melibatkan perbaikan kerusakan lapis permukaan dan peningkatan kapasitas jalan dengan menambah lapisan baru. Namun, dengan bertambahnya waktu, peningkatan kebutuhan pemeliharaan jalan juga berdampak pada ketersediaan sumber daya alam yang semakin terbatas.

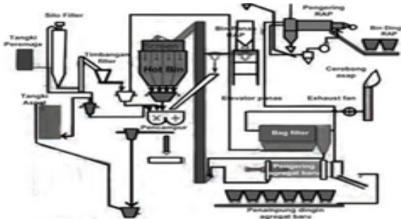
Keterbatasan pembiayaan penanganan jalan, penurunan ketersediaan agregat standar dan terbatasnya aspal, mendorong penggunaan teknologi daur ulang dengan memanfaatkan bahan sisa atau limbah, seperti bahan garukan perkerasan beraspal yang sudah diperbaiki, yaitu *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Teknologi RAP menghasilkan campuran aspal yang memiliki nilai struktural setara dengan campuran baru, dengan penggunaan bahan peremaja yang sesuai dan peralatan yang memadai.

Federal Highway Administration (FHWA) telah melakukan uji coba teknologi RAP sejak tahun 1970-an. Dari laporan yang dibuat tahun 1990-an menunjukkan lebih dari 90 juta ton perkerasan beraspal direklamasi setiap tahunnya, dan lebih dari 89% dari RAP didaur ulang. Ada dua cara dalam menghasilkan campuran aspal panas dari RAP, yaitu pengolahan di AMP dan pengolahan di lokasi (Gambar 6 dan 7). Di Indonesia, teknologi daur ulang RAP masih dilakukan di AMP, dengan tingkat daur ulang sekitar 50% RAP, akibat keterbatasan peralatan.

Penggunaan RAP lebih dari 20% memerlukan bahan peremaja untuk memperbaiki sifat aspal yang sudah menua (<https://binamarga.pu.go.id/>).

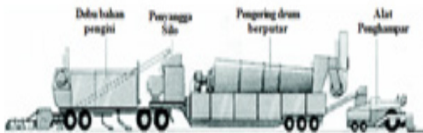


Gambar 3. Unit Alat Daur Ulang Aspal di Tempat (sumber: Nono, 2017)

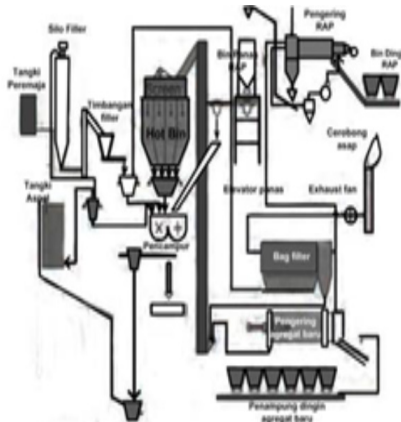


Gambar 4. Unit Pencampur Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Sistem Timbangan Untuk RAP Panas (Nono, 2018)

Gambar 6. Unit Alat Daur Ulang Aspal di Tempat
Sumber: Nono, 2017



Gambar 3. Unit Alat Daur Ulang Aspal di Tempat (sumber: Nono, 2017)



Gambar 4. Unit Pencampur Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Sistem Timbangan Untuk RAP Panas (Nono, 2018)

Gambar 7. Unit Alat Daur Ulang Aspal di AMP
Sumber: Nono, 2018

Teknologi daur ulang RAP telah diatur dalam Spesifikasi Khusus SKh-1.6.27 2019 tentang Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Pencampuran di Unit Produksi Campuran Aspal. Spesifikasi khusus ini memuat persyaratan bahan RAP dan persyaratan campuran.

Keuntungan menggunakan teknologi daur ulang RAP ini antara lain:

- Meminimalkan jumlah limbah bahan perkerasan beraspal
- Penghematan sumber daya alam (bahan baku, terutama aspal dan agregat)
- Konservasi energi (energi untuk mengekstraksi, mengolah dan mengangkut bahan mentah)
- Pengurangan CO₂ dengan menghemat energi.

Teknologi Pemanfaatan Tailing

Tailing adalah limbah hasil sampingan dari industri pertambangan yang berupa lumpur (*sludge*), hasil proses pemisahan mineral berharga dari bijih. *Tailing* dapat berasal dari tambang emas, perak, dan mineral berharga lainnya dan dapat berpotensi mencemari lingkungan.



Gambar 8. *Tailing*
Sumber: <https://firstindonesiamagz.id/>

Tailing dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, seperti keramik, batu bata, dan beton. Bahkan, penelitian yang dilakukan oleh Pusjatan menunjukkan *tailing* dapat digunakan untuk bahan jalan beton dan pengisi campuran aspal panas.



Gambar 9. *Tailing* untuk Bahan Jalan
 Sumber: Freeport Manfaatkan Tailing sebagai Bahan Campuran Aspal - TopBusiness

Kementerian PUPR telah mengeluarkan spesifikasi khusus yang berkaitan dengan pemanfaatan *tailing* ini, yaitu:

1. SKh-1.5.12 tentang Spesifikasi Khusus Lapis Fondasi Agregat Menggunakan *Tailing* (LFAT).
2. SKh-1.5.13 tentang Spesifikasi Khusus Lapis Fondasi *Tailing* Aspal (LFTA).
3. SKh-2.6.28 tentang Spesifikasi Khusus Campuran Beraspal Panas Menggunakan *Tailing*.
4. SKh-3.7.44 tentang Spesifikasi Khusus Beton Menggunakan *Tailing*.



Gambar 10. *Tailing* untuk Batako
 Sumber: Limbah Tailing Freeport Dimanfaatkan Jadi Bata dan Paving Block - Pojok Papua

Meskipun *tailing* dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton maupun aspal, khusus beton dapat berpengaruh pada mengurangi nilai kuat tekan uniaksial beton dan menurunkan nilai Nisbah Poisson dan nilai Modulus Young beton.

Teknologi Beton Daur Ulang

Beton daur ulang dibuat melalui proses penghancuran, pemecahan, penyaringan dan pemindahan dari bongkahan beton yang sudah tidak terpakai (Gambar 11). Puing-puing beton pasca bencana atau pasca perang juga bisa dijadikan sumber material daur ulang. Beton yang tidak lagi digunakan dapat dihancurkan menjadi agregat daur ulang, yang dapat digunakan kembali sebagai bahan subbase, agregat dalam beton baru, dasar jalan, tempat parkir, jalan masuk, material timbunan, atau batu bahu jalan.



Gambar 11. Bongkahan Jalan Beton dapat sebagai Sumber Beton Daur Ulang

Sumber: <https://radarbanyumas.disway.id/>



Gambar 12. Reruntuhan Bangunan Pasca Gempa dapat sebagai Sumber Beton Daur Ulang

Sumber: <https://news.detik.com/internasional/>



Gambar 13. Reruntuhan Bangunan Pasca Perang dapat sebagai Sumber Beton Daur Ulang

Sumber: <https://www.liputan6.com/>

Harian Kompas (3 April 2023) melaporkan bahwa para ilmuwan dari Suriah, Turki dan Inggris telah menunjukkan beton daur ulang dari bangunan yang hancur akibat perang atau gempa bumi dapat digunakan dengan aman dalam konstruksi baru.

Terdapat perbedaan penggunaan agregat daur ulang dengan agregat alami dalam penggunaan beton baru. Agregat daur ulang membutuhkan lebih banyak air dibandingkan agregat alami karena memiliki porositas lebih tinggi dan luas permukaan lebih besar.

Namun, dengan pembersihan yang tepat, agregat daur ulang dapat digunakan setara dengan agregat alami, mengurangi kebutuhan semen, dan menurunkan emisi CO₂ dalam beton baru.

Keuntungan menggunakan beton daur ulang diantaranya mengurangi kebutuhan bahan baku alam yang tidak terbarukan, mengurangi limbah serta lebih ramah lingkungan.

Tabel 3. Perbandingan Komponen yang Digunakan pada Beton Baru (<https://www.sika.com/>)

	Agregat yang diproduksi	Beton hancur dari daur ulang	Kerikil Alam
Sifat material	Agregat yang dihancurkan dari batu besar dengan luas permukaan lebih besar dari kerikil	Bahan dari daur ulang beton mengandung agregat dan batu semen berpori tinggi	Agregat alami dari sungai dengan luas permukaan kecil
Kebutuhan air pada beton baru	Tinggi (---)	Sedang (--)	Rendah (-)
Seberapa baik untuk produksi beton	Bagus (++)	Bagus, jika dipersiapkan dengan baik dan dibersihkan (++)	Ideal (++++)

Draft Spesifikasi 2023

Spesifikasi yang dibahas adalah Spesifikasi 2023 yang masih dalam bentuk draft (belum berlaku resmi saat naskah ini ditulis) atau sebelumnya. Teknologi berkelanjutan yang lebih ramah terhadap lingkungan, pengurangan kebutuhan energi dan atau pengurangan kebutuhan material baru (Permen PUPR No. 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan) perlu didukung dengan baik. Dalam hal ini, penulis mencoba mengkaji sejauh mana spesifikasi mendukung implementasi teknologi keberlanjutan tersebut.

1. Penggunaan Semen dan Teknologi Beton

Industri semen dikenal boros energi dan penyumbang emisi CO₂. Untuk mengurangi dampaknya, berdasarkan Protokol Kyoto,

inovasi semen ramah lingkungan dilakukan dengan mengurangi penggunaan *klinker*, dengan menambahkan bahan *cementitious* seperti *fly ash* atau *slag*. Semen-semen tersebut di Indonesia dikenal dengan:

- Semen Portland Komposit (Portland Composite Cement, PCC) sesuai SNI-7064-2022.
- Semen Portland Pozzolan (Portland Pozzolan Cement, PPC) sesuai SNI 0302:2014
- Semen Portland Slag sesuai SNI 8363:2017

Spesifikasi 2018 mencantumkan penggunaan Non OPC hanya Semen PPC sementara Semen PCC dan Semen Portland Slag belum diatur dalam Pasal 7.1.2 1) a). Adanya perkembangan teknologi dan pemenuhan terhadap kebutuhan pasar dari pihak produsen, maka penggunaan Semen Non OPC lainnya sudah tertuang dalam Draft Spesifikasi 2023.

Namun terdapat tambahan pasal yaitu adanya persyaratan kehalusan semen. Semen Non OPC harus memiliki kehalusan fisik Blaine sesuai dengan pengujian SNI 2049-5:2021 maksimum 400 m²/kg.

Dalam hal ini penggunaan jenis semen dalam Draft Spesifikasi 2023 telah mengakomodasi tuntutan konstruksi yang berkelanjutan dan tuntutan adanya perubahan iklim. Spesifikasi 2018 maupun Draft Spesifikasi 2023 belum mencakup teknologi beton tanpa semen Portland dan beton dengan volume *fly ash* tinggi, yang masih memerlukan uji coba lapangan untuk membuktikan kinerjanya.

2. Campuran Aspal

Campuran Aspal Hangat yang memiliki temperatur lebih rendah 30 °C dari campuran aspal panas telah diatur dalam **Seksi 6.4 Campuran Beraspal Hangat** dari Spesifikasi 2018. Namun, teknologi lain seperti Aspal Plastik, Aspal Karet, dan lainnya tidak tercantum dalam Spesifikasi 2018 melainkan masih dalam Spesifikasi Khusus.

Jika dicermati pada Draft Spesifikasi 2023, Campuran Beraspal Hangat sudah tidak dicantumkan lagi, Teknologi Aspal Plastik, Aspal Karet, dan *Tailing* untuk Campuran Aspal Panas juga tidak dicantumkan dalam Draft Spesifikasi, sehingga menggunakan spesifikasi khusus untuk penerapan teknologi tersebut.

3. Teknologi Daur Ulang

Teknologi campuran aspal dengan daur ulang bahan RAP tertuang dalam Spesifikasi Khusus SKh-1.6.27, namun belum tercantum pada Spesifikasi Umum 2018 ataupun Draft Spesifikasi Umum 2023. Begitu pula, beton daur ulang masih dalam tahap hasil penelitian, kajian dan skala laboratorium, belum diterapkan secara skala penuh di lapangan, meskipun potensi teknologi ini sangat besar untuk penghematan sumber daya alam.

Permen PUPR Nomor 9 Tahun 2021 menekankan konstruksi berkelanjutan dengan pengurangan sumber daya, limbah, serta pemanfaatan kembali dan daur ulang material. Teknologi berkelanjutan yang telah dikembangkan perlu mendapat dukungan, terutama melalui NSPM dan penerapan di lapangan. Namun, Draft Spesifikasi 2023 justru menunjukkan penurunan dukungan, seperti dihilangkannya campuran aspal hangat. Pemerintah perlu memastikan regulasi mendukung inovasi ramah lingkungan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas dukungan data dan NSPM, baik yang masih dalam bentuk draft maupun yang telah resmi terbit.



Jembatan Sambas Besar

Dokumentasi Kompu Direktorat Jenderal Bina Marga

Jalur Jalan Lintas Selatan Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta: Infrastruktur Baru Berdaya Guna

Oleh: **Zulaikha Budi Astuti**

Bidang Pembangunan Jalan dan Jembatan BBPJJN Jateng DI Yogyakarta

JARINGAN JALAN NASIONAL PULAU JAWA

74

Jaringan jalan nasional di Pulau Jawa saat ini terdiri dari Jalan Lintas Utara

Jawa, Jalan Lintas Tengah Jawa, Jalan Lintas Selatan Jawa dan Jalan Tol Trans Jawa.

Dengan adanya beberapa jaringan jalan yang menghubungkan sisi barat dengan sisi timur Pulau Jawa, masyarakat memperoleh fasilitas prasarana transportasi alternatif yang efisien, efektif serta ekonomis.

Gambar 1. Jaringan Jalan Nasional Pulau Jawa (Satker. Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024)

Di Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta, jaringan jalan nasional terdiri dari Jalan



Lintas Utara, Jalan Lintas Tengah, Jalan Lintas Selatan dan Jalan

Pantai Selatan. Selain itu, terdapat jalan penghubung lintas yang menghubungkan Jalan Lintas Utara dan Selatan. Jaringan Jalan Pantai Selatan saat ini masih dalam tahap konstruksi terakhir, yaitu pada Jalan

Kretek-Girijati dan Jembatan Pandansimo.

Gambar 2. Jaringan Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta (Satker. Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024)

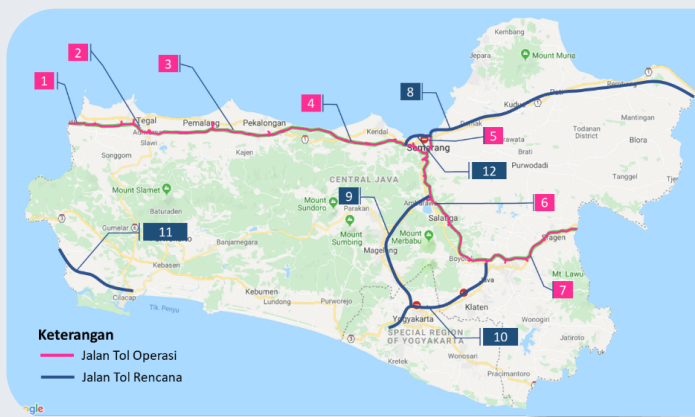
Selain jalan nasional, di Provinsi Jawa



Tengah dan D.I. Yogyakarta juga sudah terbangun jaringan jalan tol yang menjadi bagian

dari Jalan Tol Trans Jawa. Terdapat beberapa ruas jalan tol, yaitu sebagian dari Jalan Tol Kanci-Pejagan, Jalan Tol Pejagan-Pemalang, Jalan Tol Pemalang-Batang, Jalan Tol Batang-Semarang, Jalan Tol Semarang-Solo dan Jalan Tol Solo-Ngawi. Secara umum, jaringan jalan tol dibangun untuk menghubungkan simpul-simpul pertumbuhan ekonomi serta mendukung konektivitas ke bandara, pelabuhan maupun kawasan ekonomi maupun industri.

Gambar 3. Jaringan Jalan Tol di Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta (Satker. Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024)



No	Ruas Tol Operasi	Panjang (Km)	Tahun Operasi	Status
1	Kanci-Pejagan	35,00	2010	Operasi
2	Pejagan-Pemalang	57,50	2018	Operasi
3	Pemalang-Batang	39,20	2018	Operasi
4	Batang-Semarang	75,00	2018	Operasi
5	Semarang A-B-C	24,75	1983	Operasi
6	Semarang-Solo	72,95	2018	Operasi
7	Solo-Ngawi	90,43	2018	Operasi
8	Semarang - Demak	27,00	-	Sebagian operasi
9	Bawen - Yogyakarta	75,82	-	Konstruksi
10	Solo - Yogya - NYIA - Kulonprogo	95,67	-	Konstruksi
11	Gedebage - Tasikmalaya - Cilacap	206,65	-	Lelang
12	Harbour Toll Road Semarang	21,03	-	Rencana

Selain jalan tol yang telah beroperasi, saat ini juga sedang



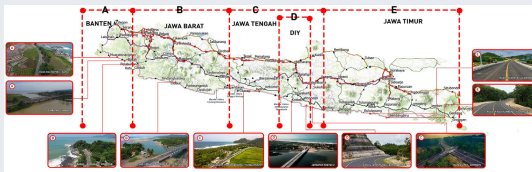
dibangun beberapa jalan tol, yaitu Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA Kulonprogo, Jalan Tol Yogyakarta-Bawen dan Jalan Tol Semarang-Demak.

Dengan pembangunan jalan tol ini, jaringan jalan tol di Pulau Jawa akan semakin lengkap dan memberikan pilihan bagi masyarakat.

JALUR JALAN LINTAS SELATAN PROVINSI JAWA TENGAH DAN D.I. YOGYAKARTA

Jaringan jalan baru di selatan Pulau Jawa yang menarik perhatian masyarakat adalah Jalur Jalan Lintas Selatan. Diperlukan waktu yang cukup panjang untuk menghubungkan jalur ini dari sisi barat hingga sisi timur. Namun, jalur ini hampir terhubung sepenuhnya dengan menyuguhkan pemandangan alam yang luar biasa.

Gambar 4. Jaringan Jalur Jalan Lintas Selatan Pulau Jawa (Satker. Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I.



Yogyakarta, 2024)

Jalur Jalan Lintas Selatan (JJS) adalah jalan nasional yang dibangun oleh Direktorat Jenderal Bina Marga membentang dari Malingping, Lebak Banten hingga Kedungsalam, Malang. Jalan ini memberikan alternatif bagi masyarakat di pesisir selatan Pulau Jawa. Pembangunan jalan

bertujuan meningkatkan konektivitas dan perekonomian di sektor industri, pertanian, perkebunan, pariwisata, serta menciptakan pusat pertumbuhan baru. Diharapkan, penambahan jaringan jalan ini dapat memangkas waktu tempuh perjalanan, baik untuk logistik maupun penumpang.

JJS direncanakan sepanjang 1547 km, saat ini telah terbangun sejauh 1.242 km terdiri dari: Banten sepanjang 170 km; Jawa Barat sepanjang 416 km; Jawa Tengah sepanjang 213,36 km; DIY sepanjang 118,39 km dan Jawa Timur sepanjang: 623,16 km. Provinsi Jawa Tengah, JJLS sepanjang 213,36 km menghubungkan Pangandaran – Karang Bolong – Congot dan Duwet – Giriwoyo – Glonggong). Sementara DIY, JJS sepanjang 118,39 km menghubungkan Congot – Legundi – Duwet.

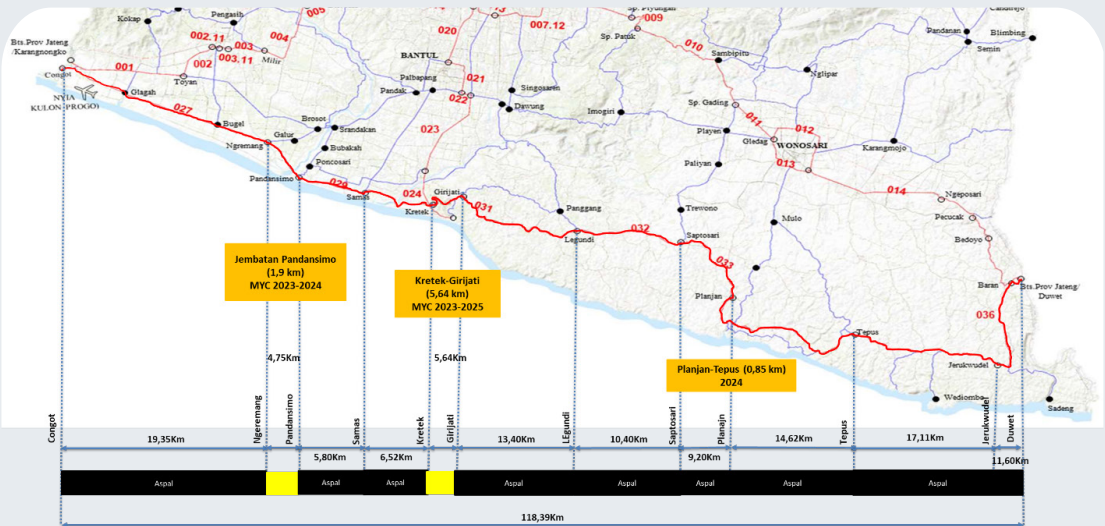
JALUR JALAN LINTAS SELATAN PROVINSI D.I. YOGYAKARTA

Jalur Jalan Lintas Selatan di Provinsi D.I. Yogyakarta terbentang dari Daerah Congot (Bandara YIA Kulonprogo) hingga Duwet. Total panjang adalah 118,39 km terbagi dalam 21 ruas dengan 19 ruas telah beroperasi dan 2 ruas proses konstruksi.



Gambar 5. Trase Jalur Jalan Lintas Selatan di D.I. Yogyakarta (Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan, 2024)

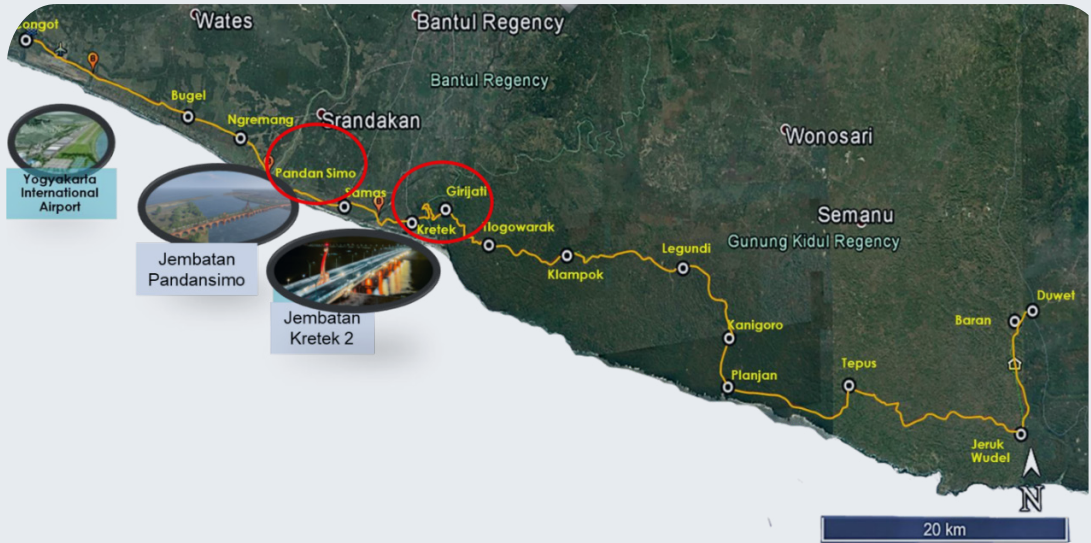
Perkembangan pembangunan JJLS DIY hingga tahun 2024 menunjukkan kondisi jalan aspal sepanjang 111,34 km, dengan 5,64 km masih dalam tahap konstruksi dan 1,9 km jembatan masih dalam proses pembangunan.



Gambar 6. Trase Jalur Pantai Selatan di D.I. Yogyakarta (Satker. Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024)

Konstruksi JJLS saat ini masih berlangsung pada Ruas Kretek (Parangtritis) – Girijati melalui Loan IsDB – TRSS Fase 2 sepanjang 5,64 km dan Jembatan Pandansimo melalui IJD TA. 2023-2024 sepanjang 1,9 km.

Sepanjang JJLS DIY, terdapat *Underpass* YIA, Jembatan Kretek 2 dan Jembatan Pandansimo. Ketiga bangunan struktur tersebut memiliki keunikan masing-masing baik dari segi struktur maupun arsitektur.



78

Gambar 7. Peta Lokasi Underpass YIA, Jembatan Pandansimo dan Jembatan Kretek 2 (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta, 2024)

JEMBATAN KRETEK 2

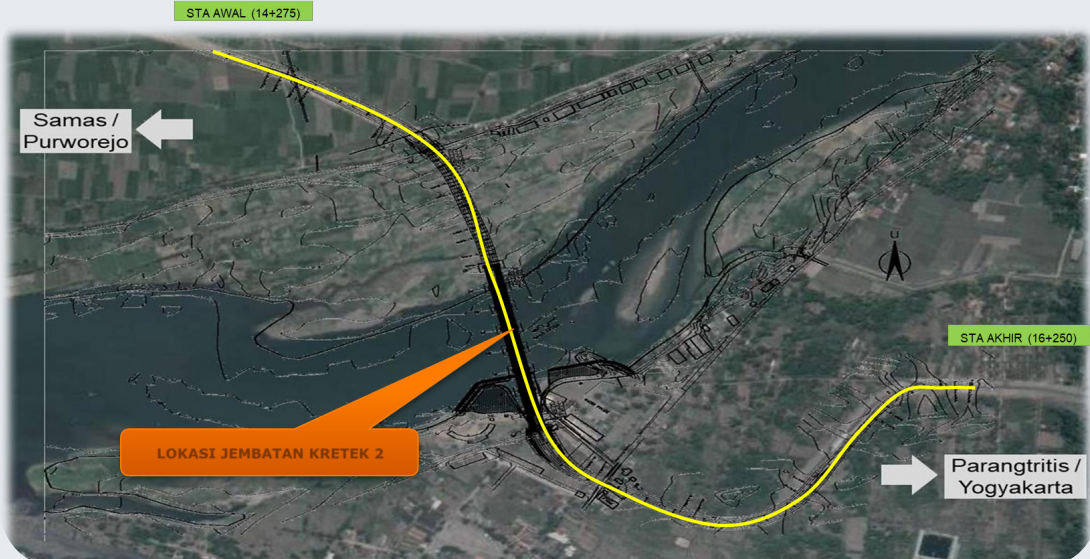
Jembatan Kretek 2 melintas di atas Sungai Opak menghubungkan daerah Samas di Purworejo dan Parangtritis di Yogyakarta.

Keberadaan jembatan ini memberikan alternatif perjalanan dari Bandara YIA Kulonprogo ke wilayah Yogyakarta.



Gambar 8. Jembatan Kretek 2 (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta, 2024)

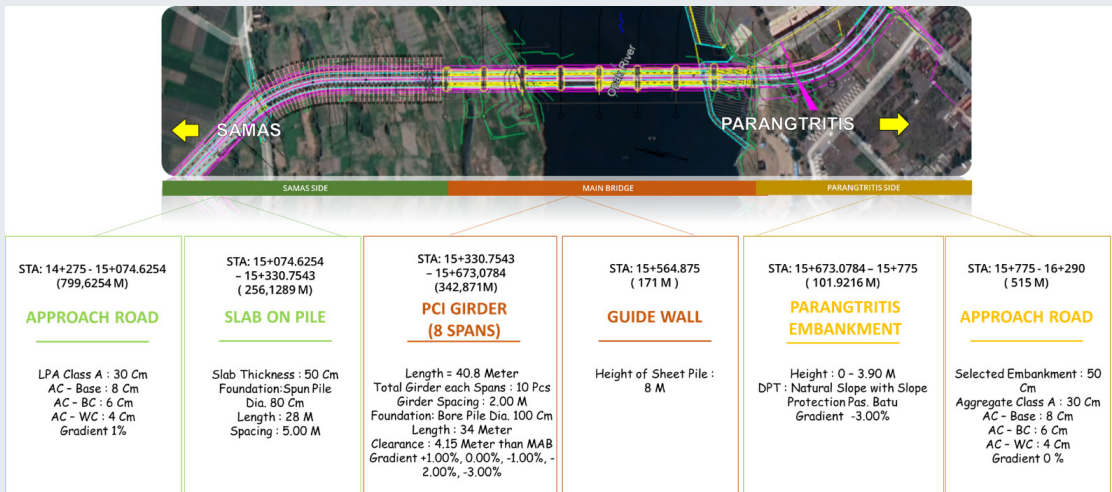
Jembatan ini berada di muara Sungai Opak. Jembatan ini dibangun dari tahun 2021-2023 oleh BBPJN Jateng-DIY.



Gambar 9. Lokasi Jembatan Kretek 2 (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta, 2024)

Jembatan ini memiliki panjang total penanganan 2,15 km. Jembatan utamanya berupa jembatan beton tipe sebanyak 8 span dengan total panjang sekitar 342 m. Konfigurasi jembatan ini adalah jalan pendekat sepanjang ± 800 m; slab on pile sepanjang ± 250 m; jembatan 8 bentang sepanjang ± 342 m; guide wall dengan sheet pile sepanjang ± 170 m; timbunan sepanjang ± 100 m dan jalan pendekat ± 510 m.

79



Gambar 10. Konfigurasi Struktur Jembatan Kretek 2 (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta, 2023)

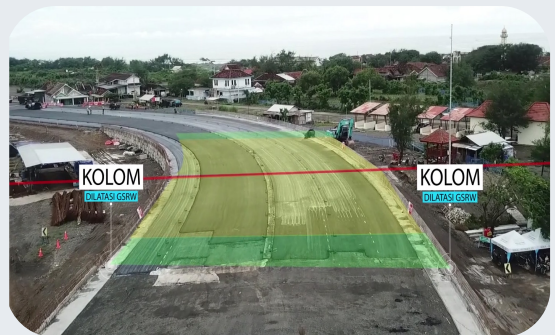
Berdasarkan kajian geologi, lokasi Jembatan Kretek 2 berada dekat Sesar Opak yang mengalami pergerakan sekitar 5 mm/ tahun. Oleh karena itu, diperlukan penanganan struktur yang tepat, dan lokasi sesar diberi tanda khusus sebagai penanda.



Gambar 10. Lokasi sesar yang telah ditandai
(Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – D.I. Yogyakarta, 2023)

80

Keberadaan sesar mengakibatkan perubahan pada struktur jembatan, termasuk pergeseran bentang utama sehingga abutment 2 berjarak 36 m dari sesar. Timbunan yang tinggi (8 m) digantikan dengan dinding penahan tanah, dan dinding dilatasi dibangun 25 m dari sesar untuk meminimalkan kerusakan akibat pergerakan sesar.



Gambar 11. Dinding Penahan Tanah dengan Dilatasi

Teknologi untuk meredam getaran gempa yang digunakan dalam konstruksi jembatan ini adalah penggunaan *Lead Rubber Bearing* (LRB) yang merupakan teknologi karet dudukan dengan material nano yang lebih kuat. Dengan menggunakan LRB maka dapat dilakukan efisiensi pada struktur bawah ataupun dapat menahan gaya-gaya gempa yang kemungkinan akan tiba. Selain LRB digunakan juga *expansion join* pada lokasi dilatasi antar girder.



Gambar 12. LRB dan *Expansion Join*

SISTEM MONITORING KESEHATAN STRUKTUR PADA JEMBATAN KRETEK 2

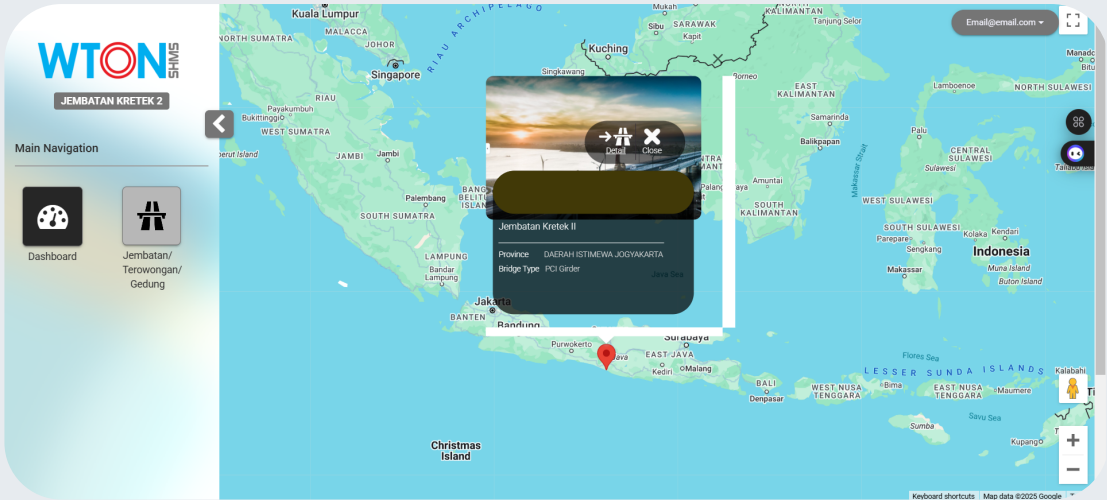
Untuk memonitor perilaku jembatan, dipasang alat-alat pemantauan yang terintegrasi dalam Sistem Monitoring Kesehatan Struktur atau SHMS. Beberapa sensor yang terpasang diantaranya *Accelerometer* untuk mengukur frekuensi getaran jembatan, *Jointmeter* untuk mengukur adanya pergerakan *slab* jembatan, *DAU-Test Controller* sebagai penerima,

pemroses dan penyimpan serta pengirim data dari lapangan ke *server*, *creepmeter* untuk mengukur pergerakan sesar aktif, dan *Seismometer* untuk mengukur besaran getaran gempa.



Gambar 13. Salah Satu Sensor SHMS Jembatan Kretek 2

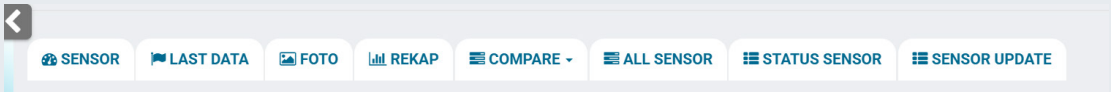
Dashboard pada SHMS Jembatan Kretek 2 menampilkan beberapa informasi dengan tampilan pertama adalah informasi nama jembatan, lokasi, dan tipe bangunan atas jembatan.



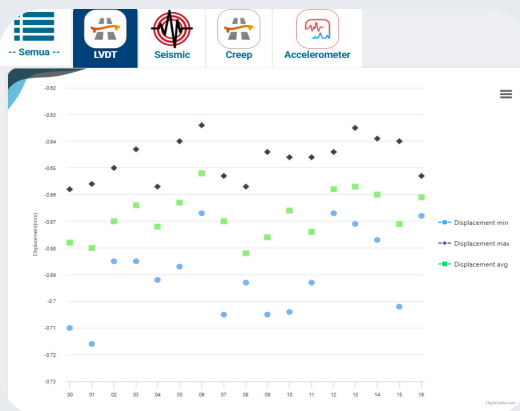
82

Gambar 14. Tampilan Dashboard SHMS Jembatan Kretek 2 (1) (BBPJN Jateng-DIY, 2024)

Selain itu, terdapat beberapa pilihan menu untuk menampilkan informasi yang dibutuhkan seperti gambar di bawah ini,



Grafik tampilan data yang tercantum dalam dashboard diantaranya data percepatan dan *Natural Frequency*, *Displacement LVDT*, *Strain*, *Tilt Meter*, Data WIM



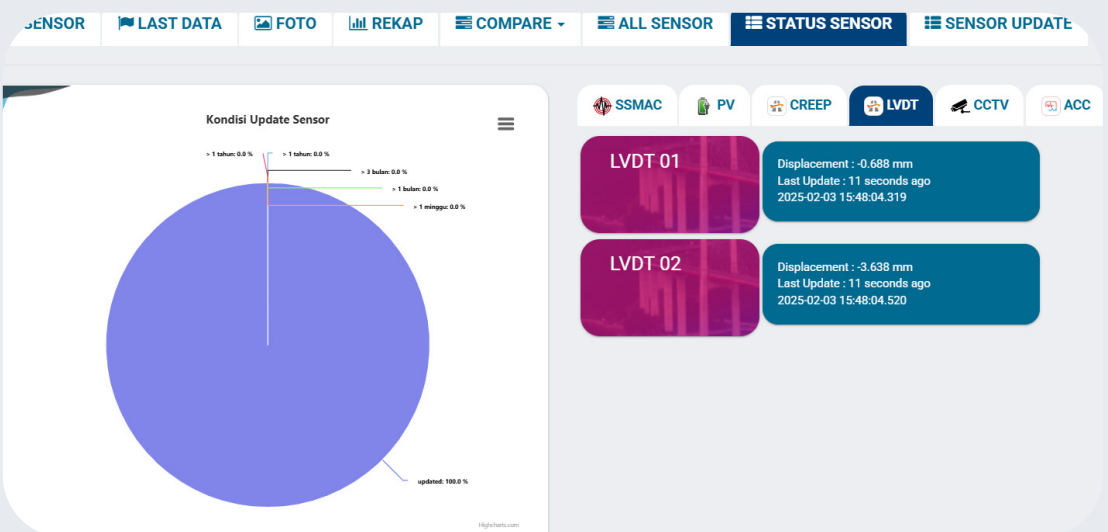
Gambar 15. Tampilan Dashboard SHMS Jembatan Kretek 2 (2) (PPK 1.2 Provinsi D.I. Yogyakarta, 2025)

Data yang ditampilkan pada detil sensor adalah data hasil pembacaan *Accelerometer*, *CCTV*, *Creep*, *LVDT*, *PV* dan seismik dengan tampilan sebagai berikut.



Gambar 16. Tampilan Dashboard SHMS Jembatan Krettek 2 (3) (PPK 1.2 Provinsi D.I. Yogyakarta, 2025)

Dashboard SHMS juga menampilkan nilai *output* sensor serta waktu terakhir *updated* berdasarkan pada sensor yang diinginkan. Selain itu, juga menampilkan status *updated* sensor SHMS dan menampilkan sensor apa saja yang *updated* dalam durasi waktu tertentu.



Gambar 17. Tampilan Dashboard SHMS Jembatan Krettek 2 (4) (PPK 1.2 Provinsi D.I. Yogyakarta, 2025)



Jalan Jalur Lintas Selatan memberikan alternatif baru yang dibangun oleh pemerintah untuk masyarakat di sisi Pulau Jawa dalam mengakses prasarana jalan yang lebih mudah dan efisien. Jaringan JJLS sudah hampir tersambung secara keseluruhan, hanya menyisakan Jembatan Pandansimo dan Jalan Kretek-Girijati.

Salah satu jembatan penting dalam jaringan ini adalah Jembatan Kretek 2 yang telah selesai dibangun pada tahun 2023. Adaptasi teknologi diterapkan dalam pembangunan jembatan sepanjang kurang lebih 2,1 km ini untuk menghadapi tantangan sesar, likuifaksi dan kegempaan. Pemantauan perilaku jembatan menjadi salah satu hal yang penting dilakukan dalam tahap pemeliharaan dan pengoperasian.

Secara umum, jaringan jalan tol dibangun untuk menghubungkan simpul-simpul pertumbuhan ekonomi serta mendukung konektivitas ke bandara, pelabuhan maupun kawasan ekonomi maupun industri.



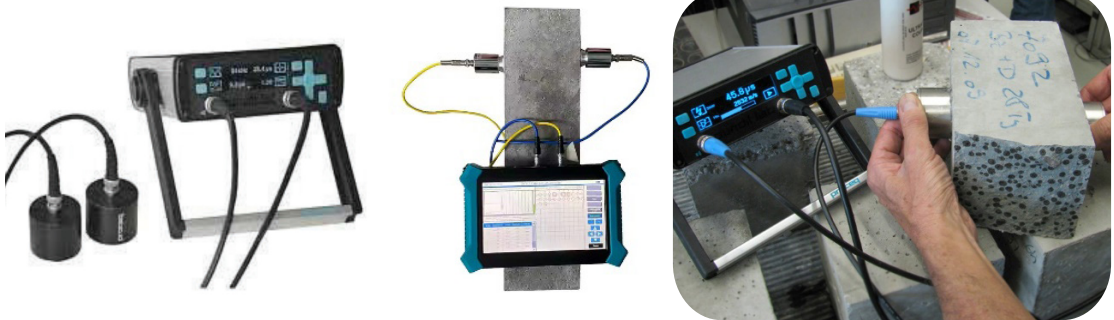


Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Alat Canggih untuk Pemeriksaan Keamanan Jembatan

Oleh: Anang Mulyawan

Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

86



Alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Metode Pengujian / Cara Kerja UPV

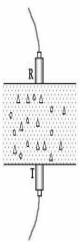
Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) adalah teknik pengujian yang dilakukan dengan melewatkan gelombang ultrasonik melalui suatu material untuk mengukur kecepatannya. Teknik ini dapat digunakan untuk menguji beton, antara lain untuk mengetahui kedalaman retak dan keberadaan rongga pada beton. UPV juga termasuk alat pengujian yang tidak merusak atau *Non-Destructive Testing* (NDT).

Dalam pengujian material beton menggunakan UPV Test, gelombang ultrasonik disalurkan dari *transmitter*

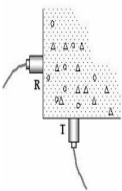
transducer yang ditempatkan di permukaan beton melalui material beton menuju *receiver transducer*. Waktu tempuh gelombang tersebut diukur oleh *Read-Out unit PUNDIT (Portable Unit Non Destructive Indicator Tester)* dalam satuan mikro detik (msec).

UPV Test dilakukan berdasarkan standar pengujian SNI ASTM C597-2012 tentang Metoda Uji Kecepatan Rapat Gelombang melalui Beton dan ASTM C 597-22 tentang *Standard Test Method for Ultrasonic Pulse Velocity*. Pengukuran dapat dilakukan dengan beberapa metode berikut:

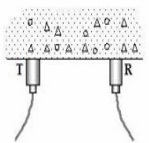
- *Direct Method* yaitu *transmitter* dan *receiver* berada pada dua permukaan yang paralel.
- *Semi-direct Method*, yaitu *transmitter* dan *receiver* berada pada dua permukaan yang saling tegak lurus.
- *Indirect Method*, yaitu kedua *transducer* berada pada permukaan yang sama.



Direct Methode (Langsung)



Semi Direct Methode (Semi langsung)



Indirect Methode (Tidak langsung)

Kedua *transducer* tersebut dapat ditempatkan secara *direct*, *semi direct* atau *indirect*. Karena jarak antara kedua *transducer* ini telah diketahui, kecepatan gelombang ultrasonik dalam material beton dapat dihitung melalui pembagian ketebalan beton dengan waktu tempuh gelombang. Peralatan yang digunakan untuk UPV Test terdiri dari :

- Satu buah *Read-Out unit* PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*).
- Dua buah *transducer* 54 Hz (masing-masing sebagai *transmitter* dan *receiver*).
- Satu buah *Calibration Bar* serta kabel-kabel dan *connector*

Cara Menggunakan Alat UPV

1. Persiapkan alat dan bahan, seperti gel ultrasonik (*grease*), *crack meter*, probe sensor, dan alat UPV yang sudah dikalibrasi;
2. Tentukan lokasi yang akan diuji;
3. Bersihkan permukaan beton dari kotoran atau debu;
4. Ratakan permukaan beton yang akan diuji;
5. Oleskan gel ultrasonik pada permukaan beton/benda uji;
6. Pasang sensor *transmitter* dan *receiver* pada permukaan beton;
7. Ukur waktu yang dibutuhkan gelombang ultrasonik untuk melewati beton;
8. Hitung kecepatan gelombang ultrasonik;
9. Analisis hasil dan interpretasi, dan
10. Buat laporan dan dokumentasi.



KEMENTERIAN
PEKERJAAN UMUM

Bineka



Jembatan CH Jawa Timur

Dokumentasi Kompu Direktorat Jenderal Bina Marga



MASPION I

TAMAN FLYOVER JOJANDA

GERBANG TOL NAGRAK

2m
2,5 m

2,5 m

2,5 m

INDONESIA

TINGGI MAKS. 4200 mm

LAJUR KHUSUS
KENDARAAN KECIL
SEDAN, JEEP

TINGGI MAKS. 2,1 m

LAJUR KHUSUS
KENDARAAN KECIL
SEDAN, JEEP

TINGGI MAKS. 2,1 m

GERBANG
TOL

TEMPELKAN
KARTU

GERBANG
TOL

TEMPELKAN
KARTU

TEMPELKAN
KARTU



MAS BIN & MBAK EKA

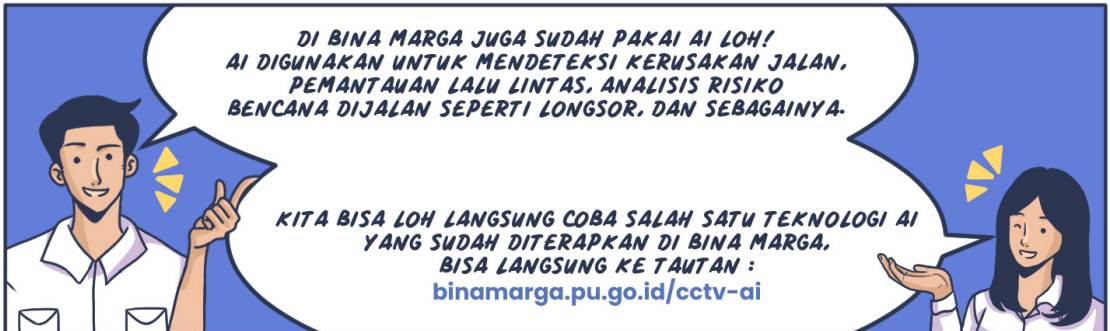


KAK, KAMU TAHU ISTILAH-ISTILAH AUGMENTED REALITY, VIRTUAL REALITY?

SAYA NGGAK TERLALU PAHAM. KENAPA NGGAK COBA TANYA KE AI SAJAK?



WAH, SEKARANG APA-APA BISA TANYA DAN PAKAI AI YA?



DI BINA MARGA JUGA SUDAH PAKAI AI LOH! AI DIGUNAKAN UNTUK MENDETEKSI KERUSAKAN JALAN, PEMANTAUAN LALU LINTAS, ANALISIS RISIKO BENCANA DIJALAN SEPERTI LONGSOR, DAN SEBAGAINYA.

KITA BISA LOH LANGSUNG COBA SALAH SATU TEKNOLOGI AI YANG SUDAH DITERAPKAN DI BINA MARGA, BISA LANGSUNG KE TAUTAN : binamarga.pu.go.id/cctv-ai



WAH! KEREN JUGA YA. NGGAK NYANGKA JALAN YANG SAYA LEWATI TIAP HARI DIKELOLA SUDAH PAKAI TEKNOLOGI CANGGIH!



BETUL, PAK. SUPAYA JALAN TETAP MULUS DAN NYAMAN, KITA TERUS BERINOVASI.



DUNIA SERBA MUDAH BERKAT AI DAN ITU BARU PERMULAAN!

تَقَبَّلُوا مِنْ بِنَامَرْجَا



Segenap Redaksi **Buletin Bineka** Mengucapkan

Selamat Hari Raya

Idul Fitri

1 Syawal 1446 H

Minal aidin **wal faidzin**
Mohon maaf lahir dan batin.