

BULETIN
BINA MARGA
BERKAWA

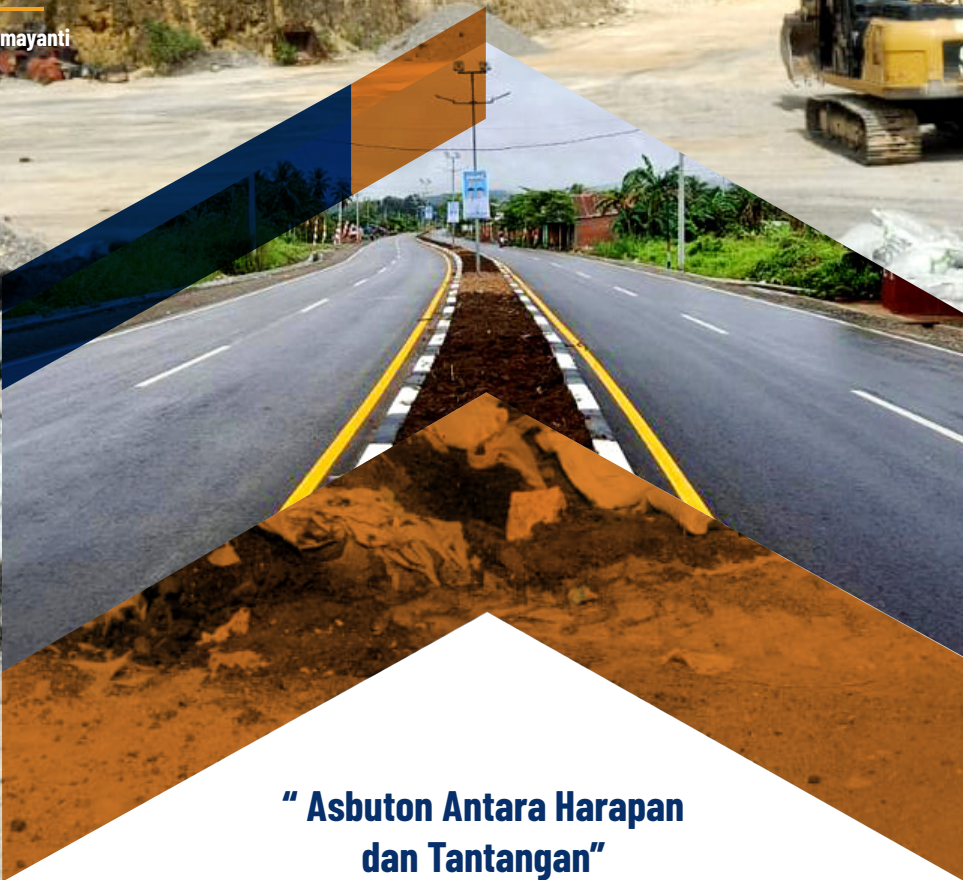
Bineka

“Lajur Khusus Sepeda Motor Alternatif Peningkatan Keselamatan Mobilitas di Jalan Raya”

Zulaikha Budi Astuti

Menilik Geologi Regional Sulut dan Pembangunan Jalan Tol Manado - Bitung dari Sudut Pandang Geologist

Eka Dhamayanti



“ Asbuton Antara Harapan dan Tantangan”

Dr. Madi Hermadi, M.M.



BULETIN BINEKA

VOLUME 6 EDISI OKTOBER 2025

TIM PENYUSUN

Pelindung

Direktur Jenderal Bina Marga

Penanggungjawab

Ir. Pantja Dharma Oetoyo, M.Eng.Sc.

Redaktur

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

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

Wahyu Supriyo Winurseto, ST, M.Eng.

Hendarto, S.T., M.T., M.D.M, Ph.D.

Armen Adekristi, S.T., MSCE.

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.

Desain Grafis

Iwan Pirdaus, S.AP.

Fotografer

Aditya Abdurachman

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 Oktober 2025, kami memilih artikel tentang pemanfaatan aspal alam yang berjudul Asbuton: antara kenyataan, harapan, dan tantangan sebagai tajuk utama. Harapan besar terhadap pemanfaatan asbuton secara maksimal bukan sekedar menggunakan produk lokal saja tetapi juga menyangkut visi jangka panjang untuk membangun Indonesia yang mandiri, berdaulat, dan berkelanjutan dalam sektor infrastruktur.

Selain itu rubrik pilihan pada edisi ini terdapat 5 artikel pilihan, artikel ke satu mengenalkan teknologi alat pengukur untuk SMKS jembatan, artikel kedua tentang menilik geologi regional Sulut dan pembangunan jalan tol Manado – Bitung dari sudut pandang *geologist*, artikel pilihan ketiga mengenai lajur khusus sepeda motor alternatif peningkatan keselamatan mobilitas di jalan raya, untuk artikel pilihan keempat tentang pemanfaatan material tanah untuk lapis fondasi jalan dengan melakukan stabilisasi dan untuk naskah pilihan kelima mengentas bahaya perlintasan sebidang jalan nasional dengan jalur kereta api. Rubrik tokoh pada edisi ini menceritakan tentang pegawai muda kisah Vito Borkat Harahap menjadi tokoh teladan muda di Kementerian PU. Serta rubrik laporan proyek tentang jembatan Pandansimo: simbol konektivitas dan kearifan lokal di Selatan Yogyakarta dan rubrik Binekapedia yang menginformasikan tentang alat ketidakrataan (*International Roughness Index*) *walking profilometer gamman (englo)* salah satu alat kelas 1 ketidakrataan.

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

- “Asbuton Antara Harapan dan Tantangan” 08
 Oleh : Dr. Madi Hermadi, M.M.
 Balai Bahan dan Pengerasan Jalan

NASKAH PILIHAN

- “Mengetahui Teknologi Alat Pengukuran untuk Smks Jembatan” 12
 Oleh : Imam Akbar, ST.
 Balai Geoteknik, Terowongan dan Struktur
- “Menilik Geologi Regional Sulut dan Pembangunan
 Jalan Tol Manado – Bitung dari Sudut Pandang Geologist” 20
 Oleh : Eka Dhamayanti
 Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali
- “Lajur Khusus Sepeda Motor Alternatif Peningkatan
 Keselamatan Mobilitas di Jalan Raya” 28
 Oleh : Zulaikha Budi Astuti
 Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI. Yogyakarta
- “Pemanfaatan Material Tanah untuk Lapis Fondasi Jalan
 dengan Melakukan Stabilisasi”
 Oleh : Silvester Fransisko dan Fitria Gustini
 Balai Bahan dan Perkerasan Jalan
- “Mengentaskan Simpang Berbahaya: Penanganan
 Perlintasan Sebidang Jalan Nasional dengan Jalur Kereta Api” 54
 Oleh : Hussein Heykal dan Ilham Pramadhitya Firdaus
 Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan

LAPORAN PROYEK

- “Jembatan Pandansimo: Simbol Konektivitas
 dan Kearifan Lokal Di Selatan Yogyakarta” 53
 Oleh : Risma Hermawati
 Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

ARTIKEL TOKOH

- “Pegawai Muda, Dampak Besar: Kisah Vito Borkat Harahap
 Menjadi Teladan di Kementerian PU” 36
 Oleh : Ani Mulyani
 Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

Serba-Serbi

BINEKAPEDIA

- Alat Ketidakrataan (*International Roughness Index*)
Walking Profilometer Gamman (Englo)
 Salah Satu Alat Kelas 1 Ketidakrataan 58
 Oleh: Ade Kurniawan
 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.

ASBUTON: ANTARA KENYATAAN, HARAPAN, DAN TANTANGAN

Dr. Madi Hermadi, M.M

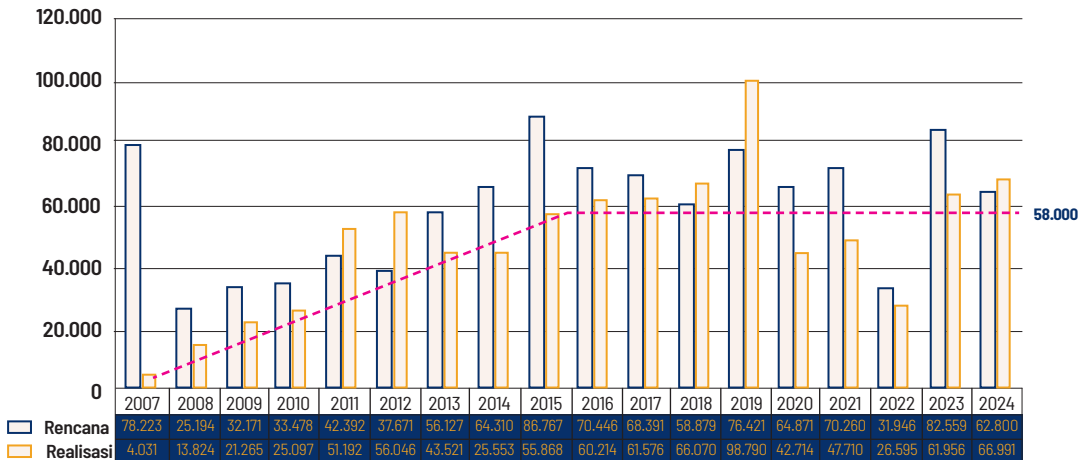
Balai Bahan dan Perkerasan Jalan

Sudah lebih dari seabad sejak Asbuton atau aspal alam dari Pulau Buton ditemukan oleh seorang geolog asal Belanda W.H. Hetzel, pada tahun 1924. Sayangnya, hingga kini pemanfaatan aspal alam tersebut masih belum menggembirakan. Dalam beberapa tahun terakhir, realisasi penggunaan Asbuton di jalan nasional memang sempat menunjukkan tren peningkatan, terutama pada periode tahun 2007 hingga 2015. Namun, sejak tahun 2015 hingga 2024, realisasinya cenderung stagnan di kisaran 58.000 ton Asbuton olahan (Gambar 1) per tahun. Jika dihitung berdasarkan kandungan bitumen (aspal) di dalamnya, jumlah itu setara dengan 14.000 ton.

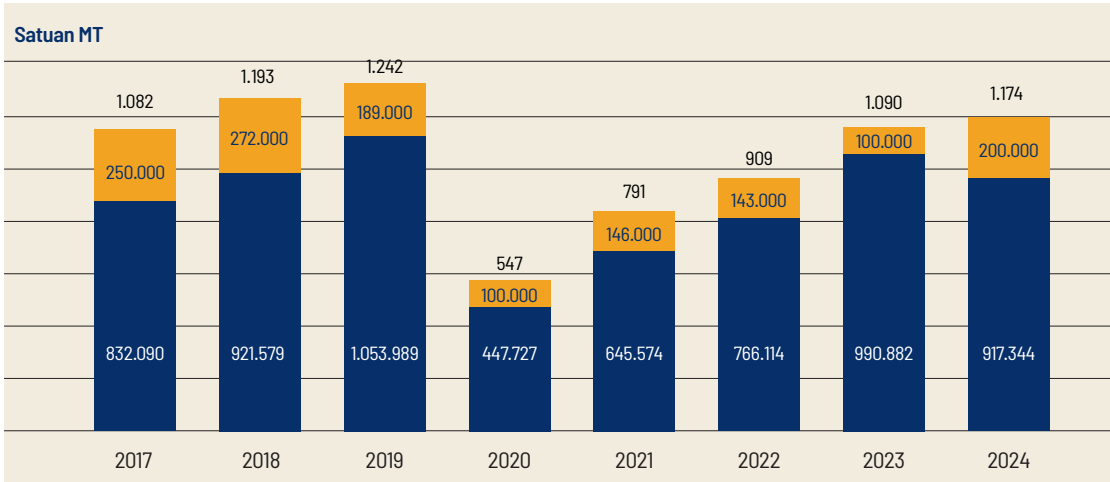
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia yang dikompilasi oleh PT Pertamina, penggunaan aspal minyak (aspal pen 60 dan aspal modifikasi hasil penyulingan minyak bumi) secara nasional untuk perkerasan jalan nasional dan daerah mencapai sekitar 1,1 juta ton per tahun. Pengecualian terjadi pada tahun 2021 dan 2022, ketika angkanya turun drastis akibat pandemi Covid-19. Dari total penggunaan tersebut, sekitar 800 ribu ton masih harus diimpor, sementara hanya sekitar 200 ribu ton yang dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri yang dipasok oleh PT. Pertamina (Gambar 2).

6

Volume (Ton)



Gambar 1: Rencana dan Realisasi Penggunaan Asbuton pada Jalan Nasional



Gambar 2: Penggunaan Aspal Minyak Tahunan Secara Nasional di Indonesia

Jika dibandingkan dengan penggunaan aspal minyak untuk perkerasan jalan secara nasional (keseluruhan jalan nasional dan daerah), penggunaan Asbuton olahan tahunan dengan bitumen masih sangat kecil. Dari total penggunaan, hanya sekitar 14.000 ton atau setara 1,27% saja. Padahal menurut data dari ASPABI (Aliansi Pengembang Aspal Buton Indonesia)

kapasitas produksi Asbuton olahan, yang terdiri dari Asbuton butir, Asbuton pracampur, Asbuton murni dan CPHMA (*Cold Paving Hot Mix Asbuton* atau Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin) mencapai 817 ribu ton. Jika dihitung berdasarkan kandungan bitumen, kapasitasnya setara dengan 221 ribu ton aspal (Tabel 1). Artinya, tingkat pemanfaatan bitumen Asbuton olahan baru sekitar 6,33% atau jauh di bawah potensinya.

Tabel 1: Kapasitas Produksi Berbagai Jenis Asbuton Olahan

Asbuton Olahan	Kapasitas Maksimum Per Tahun (Ton)	
	Asbuton Olahan	Bitumen
Asbuton B 5/20	153.600	30.000
Asbuton B 50/30	219.600	65.880
Asbuton Pra Campur	112.800	11.280
Asbuton Murni	100.000	100.000
CPHMA	231.000	13.860
Jumlah	817.000	221.020

Melihat rendahnya tingkat pemanfaatan bitumen Asbuton, sebagai bangsa yang memiliki sumber daya alam Asbuton tentu sangat berharap pemanfaatan dapat ditingkatkan hingga mencapai kapasitas produksi. Apalagi, Indonesia memiliki Cadangan Asbuton yang melimpah dan berpotensi menjadi penopang penting bagi ekonomi, ketahanan nasional, lingkungan, dan pembangunan daerah. Beberapa alasan yang dapat menguatkan potensi Asbuton, diantaranya:

1. Mengurangi Ketergantungan Impor Aspal Minyak (Aspal Pen 60).

Indonesia masih mengimpor sebagian besar kebutuhan aspal dari luar negeri, seperti Singapura, Iran, Venezuela dan lainnya. Padahal, Indonesia memiliki cadangan aspal alam terbesar di dunia, yakni Asbuton yang belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan memaksimalkan penggunaan Asbuton, ketahanan energi nasional bisa ikut diperkuat. Pasalnya, beberapa teknologi Asbuton tidak membutuhkan pemanasan tinggi berbasis energi fosil. Contohnya, LPMA (Lapis Penetrasi Makadam Asbuton) dan Butur Seal yang justru bisa diaplikasikan secara dingin, sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. Mendorong Kemandirian Nasional.

Pemanfaatan Asbuton adalah wujud nyata kemandirian bangsa dalam membangun infrastruktur jalan. Langkah ini sejalan dengan program pemerintah Peningkatan Penggunaan Produk Dalam Negeri (P3DN) yang mendorong pemakaian produk lokal untuk Pembangunan nasional.

3. Potensi Ekonomi Lokal dan Pemerataan Pembangunan.

Asbuton berasal dari Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, sebuah daerah yang secara perekonomiannya masih perlu banyak dorongan. Jika pemanfaatannya dimaksimalkan,

Asbuton bisa membuka banyak lapangan kerja baru, meningkatkan pendapatan daerah, serta menggerakkan industri pengolahan terutama di kawasan timur Indonesia.

4. Ketersediaan Sumber Daya yang Melimpah.

Cadangan Asbuton diperkirakan mencapai 663 juta ton, jumlah ini cukup untuk memenuhi kebutuhan aspal nasional hingga seratus tahun ke depan. Potensi sebesar ini menjadikan Asbuton sebagai aset strategis nasional yang hingga kini masih belum dimanfaatkan secara maksimal.

5. Potensi Efisiensi Biaya dalam Jangka Panjang.

Saat ini biaya pengolahan Asbuton memang masih relatif tinggi. Namun, jika skala produksinya diperluas dan teknologi terus ditingkatkan, biaya bisa menjadi jauh lebih efisien dibandingkan impor aspal yang berlangsung terus menerus. Selain itu, penggunaan Asbuton juga dapat menekan biaya logistik dan memperpanjang umur jalan. Sebagai bahan lokal dengan kualitas tinggi, Asbuton membuat jalan lebih awet sehingga frekuensi perbaikan bisa berkurang.

6. Mendukung Inovasi dan Teknologi Lokal.

Pengembangan Asbuton bukan hanya soal kemandirian bangsa, tetapi juga peluang besar untuk mendorong inovasi. Pemanfaatan Asbuton bisa memacu riset material, rekayasa perkerasan jalan, hingga teknologi konstruksi yang berbasis pada sumber daya dalam negeri.

Menariknya, beberapa negara lain sudah lebih dulu mengembangkan teknologi Asbuton. Seperti China, mengembangkan Asbuton pracampur, sementara Jepang menggunakan lapis Gussphalt Asbuton untuk di atas dek baja jembatan.

7. Lebih Ramah Lingkungan.

Asbuton adalah aspal alam yang proses produksinya berpotensi menghasilkan emisi karbon lebih rendah dibandingkan proses produksi aspal minyak. Terutama Asbuton butir yang bisa menggantikan 50% aspal minyak pada campuran beraspal panas, bahkan menggantikan 100% aspal minyak pada CPHMA, LPMA, dan Butur Seal. Dengan pengolahan yang tepat, Asbuton bukan hanya mendukung Pembangunan infrastruktur, tetapi juga pembangunan berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan.

Harapan besar terhadap pemanfaatan Asbuton secara maksimal bukan sekedar soal menggunakan produk lokal. Lebih dari itu, Asbuton menyangkut visi jangka panjang untuk membangun Indonesia yang mandiri, berdaulat, dan berkelanjutan dalam sektor infrastruktur.

Namun, upaya ini tetap harus diiringi dengan peningkatan kualitas, inovasi teknologi, dan dukungan kebijakan yang konsisten. Tantangan yang dihadapi pun tidak sederhana seperti membalikan telapak tangan melainkan banyak tantangan yang harus dihadapi dan diselesaikan. Tantangan tersebut ada yang berlaku secara umum untuk seluruh produk Asbuton olahan dan ada juga yang spesifik terhadap Asbuton jenis tertentu.

Sampai saat ini, sudah terdapat lima jenis produk Asbuton olahan yang beredar di pasaran dan masing-masing dilengkapi dengan standar spesifikasi dan pedoman penggunaannya. Kelima produk tersebut adalah Asbuton Butir B 5/20, Asbuton Butir B 50/30, Asbuton Pracampur, Asbuton Murni dan CPHMA. Informasi singkat mengenai penggunaan tiap produk dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Asbuton Olahan dan Informasi Penggunaannya

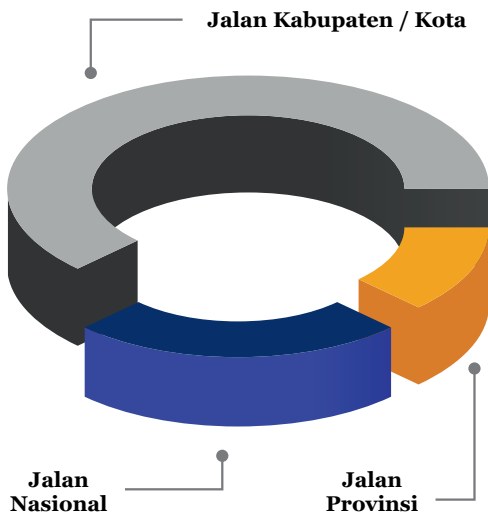
Asbuton Olahan, (Bentuk & Kemasan)	Standar Spesifikasi / Pedoman	Substitusi Aspal (%)	Kebutuhan Aspal Pendamping (%)	Kelas Jalan (ESALs)	Alat Khusus
Asbuton B 5/20, (Butiran, Karung)	<ul style="list-style-type: none"> • SNI 8863-2019 • Spesifikasi Umum 	10	90	< 10 Juta	-
Asbuton B 50/30, (Butiran, Karung)	<ul style="list-style-type: none"> • SNI 8864-2019 • Spesifikasi Umum 	50	50	< 10 Juta	Feeder system
Asbuton Pracampur, (Semi solid, Curah dalam tangki atau Drum)	<ul style="list-style-type: none"> • SNI 8865-2019 • Spesifikasi Umum 	10	90	> 10 Juta	<ul style="list-style-type: none"> • Tangki berpengaduk • Dekanter drum
Asbuton Murni, (Semi solid, Karung)	<ul style="list-style-type: none"> • SNI 9096:2022 • SKh-1.6.290 • SKh-1.6.30 	100	0	> 10 Juta	Dekanter kemasan kantong
CPHMA (Granular, Karung)	<ul style="list-style-type: none"> • SNI 8867-2019 	100	0	< 4 Juta	Feeder system

Tantangan utama dalam meningkatkan pemanfaatan produk Asbuton olahan adalah ketersediaan pasar, yang sangat erat kaitannya dengan ketersediaan pekerjaan atau proyek jalan. Data menunjukkan total panjang jalan di Indonesia sekitar 507.426 km yang terdiri dari jalan nasional sekitar 47.817 km (8,75%), jalan provinsi sekitar 54.633 km (9,99%), serta jalan kabupaten dan kota sekitar 444.276 km (81,26%). Dari angka tersebut terlihat jelas bahwa pasar terbesar bagi Asbuton olahan sebenarnya ada pada jalan kabupaten/kota. Permasalahannya, bagaimana mengakselerasi pemerintah daerah dan daerah lainnya untuk berpihak pada penggunaan Asbuton sebagai solusi dalam pembangunan maupun perbaikan jalan.

Tabel 3: Panjang Jalan di Indonesia

JENIS JALAN	PANJANG (KM)	%
Jalan Nasional	47.817	8,75%
Jalan Provinsi	54.633	9,99%
Jalan Kabupaten dan Kota	444.276	81,26%
JUMLAH	546.725	

Sumber: <https://www.bps.go.id/>



Gambar 3: Panjang Jalan di Indonesia

Dilihat dari kelas beban lalu lintas jalan, jalan kabupaten dan kota mayoritas jalan dengan beban lalu lintas 4-10 juta ESALs dan di bawah 4 Juta ESALs. Untuk jalan tersebut Asbuton olahan jenis Asbuton murni dan Asbuton pracampur tidak sesuai. Alasannya, Asbuton tersebut setara aspal modifikasi kelas kinerja PG 70 – PG 76, yang menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 untuk jalan dengan lalu lintas berat (di atas 10 juta ESALs) dan dengan harga yang lebih mahal dari perkerasan jalan untuk jalan dengan kelas di bawah 10 juta ESALs. Jenis Asbuton olahan yang sesuai dengan jalan kabupaten adalah Asbuton Butir B 5/20 (Gambar 4), Asbuton Butir B 50/30 (Gambar 4) dan CPHMA (Gambar 5).

Asbuton Butir B 5/20 hanya digunakan sekitar 3% dalam campuran beraspal atau substitusi aspal 10%, dan masih memerlukan 90% aspal pen 60. Sementara, Asbuton Butir B 50/30 penggunaan 10% dalam campuran beraspal (substitusi aspal 50%) dan masih memerlukan 50% aspal pen 60. Namun, penggunaannya perlu tambahan alat *feeder system* (Gambar 6) di Unit Pencampur Aspal (*Asphalt Mixing Plant, AMP*) dengan biaya investasi sekitar Rp300 - Rp500 juta. Daerah yang tersedia Unit Pencampur Aspal dan sudah memiliki *feeder system* di Pulau Sulawesi, Provinsi Jawa Timur dan Provinsi Jawa Tengah.

Dengan demikian, meski substitusi aspal minyak cukup tinggi namun penggunaan Asbuton Butir B 50/30 di daerah lainnya masih terkendala pada keharusan AMP berinvestasi untuk menambah *feeder system*.



Asbuton Butir B 5/20 Kemasan Jumbo



Asbuton Butir B 50/30 (LGA)

Gambar 4: Produk Asbuton Butir B 5/20 dan Asbuton Butir B 50/30



Gambar 5: Produk CPHMA



Gambar 6: Beberapa Contoh Unit Pencampur Aspal yang Dilengkapi Feeder System

Penggunaan CPHMA di jalan kabupaten dengan lalu lintas di bawah 4 juta ESALs efektif terutama di daerah yang terbatas pada akses AMP, misalnya di daerah terpencil atau pulau-pulau kecil yang jauh dari AMP. Di daerah yang tersedia AMP, penggunaan Campuran Beraspal Panas Asbuton Butir B 50/30 biasanya lebih disarankan karena pelaksanaan secara panas selain lebih stabil juga umumnya lebih murah dari CPHMA yang pelaksanaannya secara dingin memerlukan bahan tambah pelarut atau pelunak. Meski begitu, ada beberapa produsen yang mampu memproduksi CPHMA secara efisien sehingga mampu memberikan harga yang sama dengan campuran beraspal panas aspal minyak biasa.

Keunggulan CPHMA lainnya adalah substitusi aspal minyak 100%. Artinya, penerapan CPHMA sama sekali tidak memerlukan aspal minyak. Dengan kata lain, untuk jalan daerah dengan lalu lintas di bawah 4 juta ESALs penggunaan Asbuton CPHMA tidak bergantung pada keberadaan aspal minyak per 60.

Berbeda dengan CPHMA, Asbuton Murni dan Asbuton Pracampur memiliki karakteristik bitumen setara dengan aspal modifikasi PG 70 atau PG 76. Produk ini sesuai untuk jalan dengan lalu lintas berat atau dengan beban lalu lintas di atas 10 juta ESALs, seperti jalan nasional lintas utama (Pantura Jawa, Jalintim Sumatera, dll), jalan bebas hambatan (jalan Tol), serta jalan dengan lalu lintas berat lainnya.

Kendala dari penerapan Asbuton olahan ini adalah adanya pesaing yaitu jalan dengan beton semen (perkerasan kaku) atau jalan dengan aspal modifikasi polimer sintesis (*Polymer Modified Asphalt, PMB*). Kendala lainnya adalah pada jalan nasional non Tol, jalan dengan lalu lintas berat di atas 10 juta ESALs perkiraan secara kasar

jumlahnya sedikit yaitu hanya sekitar 10% sampai 15% saja dari jalan nasional non tol. Hal ini dapat menyebabkan ketersediaan Asbuton Murni dan Asbuton Pracampur melebihi kebutuhan aspal untuk jalan tersebut. Sebagai ilustrasi, jika jalan nasional non tol hanya sekitar 10% dari seluruh jalan di Indonesia dengan kebutuhan aspal lebih tinggi dari proporsi jalannya misalnya hingga sekitar 35% dari kebutuhan aspal nasional, maka kebutuhan aspal untuk lalu lintas berat non Tol adalah maksimum 15% dari 35% dari kebutuhan aspal nasional 1.1 juta ton yaitu 57.750 ton. Ini lebih sedikit dari kapasitas produksi kedua jenis Asbuton olahan tersebut.

Asbuton murni sebenarnya dapat digunakan juga pada kelas di bawahnya (4-10 juta ESALs) karena dapat mensubstitusi aspal dari minyak bumi sebanyak 100%. Namun, konsekuensinya biaya konstruksi jalan menjadi lebih mahal daripada menggunakan aspal minyak atau Asbuton butir. Secara kualitas jalan memang meningkat juga menjadi lebih tinggi, namun belum ada hasil kajian apakah peningkatan kualitas ini sepadan dengan peningkatan biaya.

Dilihat dari kinerja dan harga, Asbuton olahan, Asbuton murni (Gambar 7) dan pasar Asbuton pracampur (Gambar 8) yang keduanya setara aspal minyak modifikasi PG 70 – PG 76, memiliki pasar yang sama yaitu jalan dengan lalu lintas berat. Perbedaan terlihat pada, Asbuton murni memiliki kelebihan yaitu dapat mesubstitusi aspal minyak sampai 100%, sedangkan Asbuton pracampur mensubstitusi aspal minyak maksimum 10% atau 90% masih tergantung pada keberadaan aspal minyak.

Permasalahan utama Asbuton murni dan Asbuton pracampur adalah tidak sebandingnya kapasitas produksi dengan proyek jalan lalu lintas berat. Solusi yang mungkin dilakukan adalah menekan harga kedua jenis Asbuton olahan tersebut hingga setara dengan harga aspal minyak pen 60. Dengan begitu, Asbuton dapat digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas di bawah 10 juta ESAs.

Tantangan ini mendorong produsen untuk terus berinovasi dan mencari cara agar proses produksinya lebih efektif dan efisien. Beberapa perusahaan, baik Asbuton Murni maupun Asbuton Pracampur, sudah menyatakan mampu memproduksi jenis Asbuton tersebut dengan harga setara aspal minyak pen 60. Salah satu produsen Asbuton Pracampur sudah mulai memproduksi, sedangkan produsen lainnya baik Asbuton Murni maupun Asbuton Pracampur ada yang sedang mendirikan pabrik, dan ada pula yang masih dalam mencari investor.



Gambar 7: Produk Asbuton Murni dalam Kemasan Kantong



Gambar 8: Produk Asbuton Pracampur dalam Kemasan Tangki Berpengaduk

Mengenal Teknologi Alat Pengukuran Untuk Smks Jembatan

Oleh: Imam Akbar, ST.

Balai Geoteknik, Terowongan dan Struktur

Infrastruktur sipil merupakan aset sangat berharga yang mendukung berbagai aktivitas masyarakat. Salah satunya adalah jembatan, berfungsi untuk menghubungkan jalan yang terpisah oleh sungai, lembah, atau lintasan lainnya. Kehadiran jembatan membantu memperpendek waktu tempuh dan mengurangi biaya perjalanan bagi masyarakat.



Gambar 1. Masyarakat Menggunakan Fasilitas Jembatan yang Mendukung Aktifitas Sehari-Hari (sumber: *solo.suaramerdeka.com*).

Jembatan mengalami penurunan kualitas struktur seiring penggunaannya, sehingga diperlukan pemantauan kondisi fungsional strukturnya, seperti masa layan (*life span*). Faktor seperti gempa bumi, angin yang sangat kencang,

perubahan lingkungan, dan beban kendaraan pengangkut barang yang berlebihan dapat memberikan dampak negatif terhadap integritas struktur jembatan.

Pemeriksaan kondisi dan evaluasi kesehatan jembatan secara periodik, merupakan pekerjaan yang rutin dan penting. Diantaranya adalah pemeriksaan visual, yang dilengkapi dengan pengujian dan evaluasi tak-merusak (*Non-Destructive Testing and Evaluation / (NDT / NDE)*), telah digunakan sejak lama untuk memeriksa kesehatan struktural jembatan. Namun, jenis pemeriksaan ini masih terkait dengan masalah subjektivitas dalam penilaian kondisi struktur dan sifat periodik dari pelaksanaannya (dalam satuan waktu yang tidak kontinu), yakni sifat kontinu dari pemeriksaan visual (yang dilakukan oleh operator secara manual) terbatas dalam kuantitas dan kualitas data kondisi struktur yang dikumpulkan, dibandingkan dengan kontinuitas pemeriksaan otomatis (yang dilakukan oleh sistem elektronik) yang lebih tinggi kuantitas dan kualitas datanya.

Untuk itu, pemantauan dan pemeriksaan kondisi struktur jembatan yang objektif dan kontinu (berupa Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (SMKS) / *Structural Health Monitoring System (SHMS)*) dapat menjadi upaya yang lebih baik untuk mengatasi masalah tersebut.

Tujuan umum MKS (Monitoring Kesehatan Struktur) adalah untuk mendapatkan data kuantitatif secara waktu-nyata (*real-time*) mengenai perilaku struktur dan mengevaluasi kondisi terkini dari jembatan, yang memungkinkan pihak tertentu untuk mengambil keputusan terkait masa depan jembatan tersebut, berupa tindakan perawatan atau perbaikan.

MKS jembatan terdiri dari jaringan sensor berkabel maupun nirkabel, yang membantu dalam pengukuran data seakurat mungkin. Saat ini, terdapat kemajuan yang signifikan dalam teknologi MKS jembatan yang dicapai dengan penelitian yang ekstensif, berupa kegunaan deteksi kerusakan yang meliputi: respons frekuensi, proses statistik, efek temperatur, maupun analisis perpindahan dan peregangannya.

MKS Jembatan

MKS merupakan metode pengukuran dan evaluasi struktur *in-situ* yang tak-merusak. Metode ini menggunakan beragam sensor yang dipasang atau ditanam ke dalam struktur untuk memantau respons struktur, menganalisis karakteristik struktur (memperkirakan tingkat keparahan dari kerusakan struktur), dan evaluasi konsekuensinya terhadap struktur dalam hal respons, kapasitas, dan masa-layan (Mufti, 2001). Beragam jenis data yang diukur secara kontinu dari sensor dikumpulkan, dianalisis, dan disimpan untuk evaluasi serta acuan di masa depan.

Lebih lanjut, MKS tidak hanya berupa akuisisi data respons suatu struktur terhadap eksitasi eksternal dan internal, tetapi juga penelaahan data tersebut untuk mengukur perubahan keadaan struktur dan estimasi beberapa aspek seperti kapasitas dan masa-layan yang tersisa. Untuk memahami pentingnya MKS dalam evaluasi struktur, perlu dipahami lebih lanjut bagaimana perubahan kondisi struktur dapat dikategorikan sebagai kerusakan.

Kerusakan menurut Sohn dkk. (2003) mendefinisikan sebagai perubahan yang terjadi pada suatu sistem yang memengaruhi kinerja sistem tersebut. Umumnya, kerusakan disebabkan penuaan material atau kejadian katastrofik yang menyebabkan kerusakan parah.

Dalam Pedoman Pemeriksaan Jembatan Tahun 2022, kerusakan yang perlu diperhatikan secara serius meliputi:

- a) kerusakan tersebut merugikan dan telah berkembang sampai tingkat yang berat,
- b) kerusakan tersebut membahayakan dan telah meluas, atau
- c) kerusakan tersebut membahayakan, telah berkembang sampai tingkat kerusakan yang berat, dan telah meluas

Menurut Doebling dkk. (1996), kerusakan dapat dikategorikan sebagai linear atau nonlinear. Kerusakan linear terjadi ketika struktur yang awalnya bersifat linear-elastik tetap mempertahankan sifat tersebut setelah mengalami suatu kejadian. Sementara kerusakan nonlinear berhubungan dengan situasi di mana struktur yang semula linear-elastik berubah menjadi berperilaku nonlinear setelah suatu kejadian.

Sebagai salah satu bentuk kerusakan linear, pengurangan kekakuan umumnya terjadi dalam material konstruksi yang mengalami penuaan, seperti baja, beton, beton yang diperkuat, dan lain sebagainya. Korosi baja dapat mengakibatkan pengurangan kekakuan elemen struktur. Korosi mengakibatkan pengurangan penampang melintang (*cross section*) dari anggota struktur, dan dengan demikian pengurangan kekakuan struktur (Gambar 2).



Gambar 2. Anggota Struktur Berupa Tiang Penopang yang Mengalami Korosi | (Jang Shinae dan F. Spencer, Jr. Billie, NSEL Report Series, 2015).

Metode Penentuan Keberadaan dan Lokasi Kerusakan Struktur

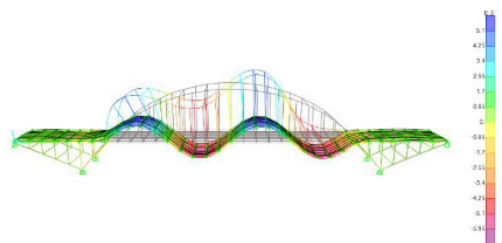
Salah satu metode deteksi kerusakan memanfaatkan perubahan frekuensi alami. Dalam teori Cawley dan Adams (1979) menggunakan rasio perubahan frekuensi alami untuk mendeteksi lokasi berkurangnya kekakuan lokal dan tingkat (secara kasar) kerusakannya. Asumsi utamanya menjelaskan frekuensi alami merupakan sebuah fungsi lokasi kerusakan saja. Namun, metode ini tidak digunakan secara luas karena memerlukan banyak pasangan mode sebelum dan sesudah kerusakan.

Metode MKS yang hanya menggunakan perubahan frekuensi alami memiliki keterbatasan intrinsik, berupa banyaknya faktor lingkungan dan struktur yang berkaitan. Seperti yang dicontohkan Sohn (2006) temperatur dapat menyebabkan frekuensi alami struktur berubah secara signifikan dalam sehari. Perubahan tersebut, berkaitan dengan sifat fisika struktur (terutama struktur logam yang dapat memuai atau menyusut akibat perubahan temperatur) di wilayah dengan empat musim maupun dua musim yang mengalami perubahan suhu drastis.

Di samping itu, pergeseran frekuensi alami menyatakan perilaku global struktur, meskipun pergeseran tersebut menunjukkan keberadaan kerusakan, informasi tersebut tidak cukup untuk menentukan lokasinya. Untuk itu, pergeseran frekuensi alami sering digunakan dalam hubungan dengan metode MKS lainnya untuk penentuan lokasi kerusakan.

Algoritma MKS yang menggunakan sifat perubahan frekuensi alami (*natural frequency*) dan ragam bentuk (*mode shape*) (Gambar 3), kemudian dipertimbangkan dalam penentuan keberadaan dan lokasi kerusakan. Lee dkk. (2002) mengajukan sebuah metode deteksi kerusakan menggunakan frekuensi alami dan ragam bentuk.

Sementara, Kim dkk. (2002) mengajukan dua algoritma deteksi kerusakan dengan korelasi di antara pengurangan kekakuan dan perubahan frekuensi alami, serta ragam bentuk. Sebuah model balok beton pra-tegang digunakan untuk studi numerik untuk kedua metodenya. Pengurangan kekakuan digunakan sebagai kerusakan. Frekuensi alami terpantau menurun seiring tingkat parahannya kerusakan. Adapun metode berbasis ragam bentuk, memungkinkan deteksi lokasi kerusakan secara mendekati melalui indeks kerusakan serta memperkirakan tingkat keparahan kerusakan berdasarkan perbandingan kekakuan struktur.



Gambar 3. Getaran jembatan dinyatakan oleh sifat frekuensi alami dan ragam bentuk ragam bentuk (Mohammad Radja Nur Rizqi, 2017).

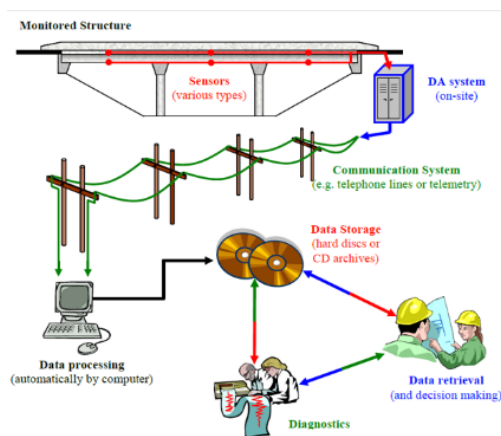
Komponen Sistem MKS

MKS secara mendasar meliputi sensor dan akuisisi data, transfer dan komunikasi data, analisis dan interpretasi data, hingga manajemen data. Sebuah sistem MKS terdiri dari komponen umum sebagai berikut:

- sensor dan jaringan akuisisi data;
- komunikasi data;
- pengolahan data;
- penyimpanan data yang sudah diolah;
- analisis diagnosis dan prognosis (yakni, algoritma deteksi dan pemodelan kerusakan, identifikasi dan interpretasi kejadian); dan
- pengambilan informasi yang dibutuhkan.

Skema Kerja MKS

Sebuah sistem MKS yang ideal seharusnya mampu menyediakan informasi menurut permintaan mengenai kondisi struktur dan peringatan terkait kerusakan yang signifikan yang terdeteksi. Skema kerja dari MKS yang umum diperlihatkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Skema umum sistem MKS (Bisby, 2006).

Sensor

1. Pemilihan Sensor

Langkah awal dalam pembuatan sistem MKS yang efektif adalah pemilihan sensor yang sesuai. Sensor harus mampu mengukur parameter struktur yang diinginkan, yakni menyediakan informasi untuk pemantauan dan analisis. Contohnya, pengukuran oleh sensor terhadap: regangan, deformasi, percepatan, lingkungan (temperatur, kelembapan, tekanan), beban, dan atribut struktur lainnya. Kriteria pemilihan sensor sebaiknya meliputi akurasi, kehandalan, kondisi pemasangan sensor, syarat daya, batasan transmisi sinyal, ketahanan, dan biaya.

2. Teknologi Pengukuran

Terdapat beragam jenis data yang diukur oleh sensor, yang berhubungan dengan respons struktur yang diperlukan dalam sistem MKS. Sensor konvensional tersedia secara komersial, diantaranya: sel beban (*load cell*), pengukur regangan resistansi elektrik, pengukur regangan kawat yang bergetar (*vibrating wire strain gauge*), transduser perpindahan, akselerometer, anemometer, termokopel, dan lain sebagainya. Secara umum, pengukuran konvensional parameter respons struktur dilakukan terhadap regangan, perpindahan, percepatan dan temperatur.

a. Pengukur Regangan Foil (*Foil Strain Gauge*)

Pengukur regangan foil (Gambar 5 dan 6) banyak digunakan untuk pengukuran regangan. Secara umum, sensor ini ditempelkan pada permukaan komponen struktur dan disambungkan menggunakan kabel kepada unit pembacaan data.

Saat komponen tersebut mengalami regangan, perubahan panjangnya memengaruhi kondisi fisik pengukur regangan foil yang menghasilkan sinyal tegangan listrik. Kemudian, sinyal tersebut dikirim kepada unit pembacaan data. Agar keluaran (*output*) dari unit pembacaan data benar-benar mencerminkan perubahan regangan pada komponen struktur, penting untuk memahami berbagai faktor yang memengaruhi kualitas pengukuran tersebut.

Selain pengukur regangan foil, terdapat juga pengukur regangan yang dapat dilas (*weldable strain gauge*) (Gambar 7). Pengukur jenis ini terdiri dari pengukur regangan foil dengan desain yang khusus, yang disambungkan kepada logam penyambung untuk proses las titik kepada komponen baja.



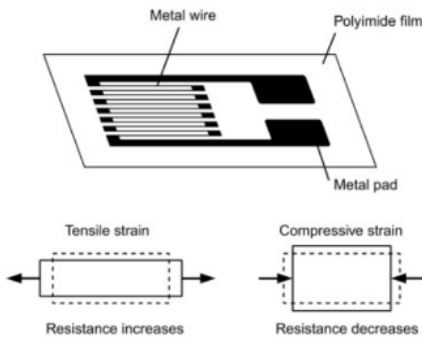
Gambar 7. Pengukur regangan foil yang dapat dilas (sumber: *hitecprod.com*).

b. Pengukur Regangan Kawat Bergetar (*Vibrating Wire Strain Gauges*)

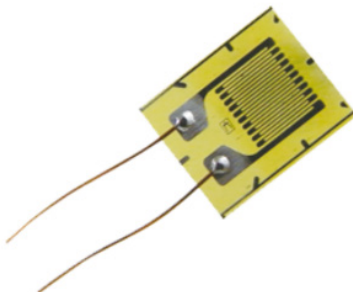
Pengukur regangan kawat bergetar (*vibrating wire / VW*) dibungkus menggunakan tabung baja yang tertutup (Gambar 8 dan 9).

Pengukur tersebut dilengkapi dengan rangkaian magnet untuk eksitasi kawat di dalam tabung tersebut. Dalam beberapa model, rangkaian magnet dipasang di luar tabung, sementara model lainnya dipasang di dalam tabung. Secara umum, pengukur VW tahan terhadap kelembapan.

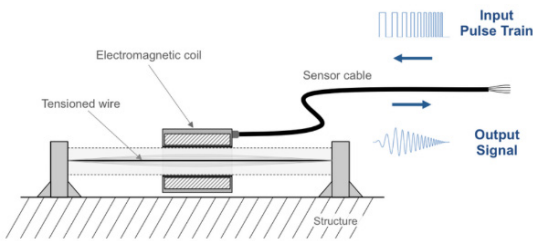
Pengukur VW relatif besar (biasanya lebih besar dari 100 mm panjangnya) yang digunakan dengan cara ditanam dalam beton atau ditempatkan pada permukaan komponen. Pengukur regangan pada permukaan dapat dilas, dikunci, atau diikat kepada material. Sementara, pengukur regangan yang ditanam dapat langsung dimasukkan dalam beton atau dicetak ke dalam briket beton sebelum ditempatkan dalam posisi akhirnya.



Gambar 5. Bagian-bagian pengukur regangan foil dan kondisi regangan tarik dan tekan (John X.J. Zhang dan Kazunori Hoshino, dalam *Molecular Sensors and Nanodevices (Second Edition)*, 2019).



Gambar 6. Pengukur regangan foil (sumber: *www.msib.com*).



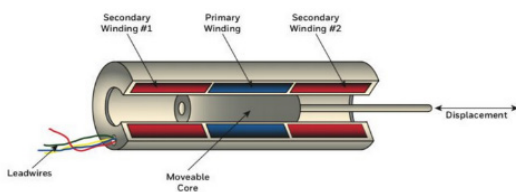
Gambar 8. Struktur sensor kawat getar (Zheng Ling Hui dan Zhu Xin-Yin, 2014).



Gambar 9. Sensor regangan kawat getar (sumber: www.soilinstruments.com).

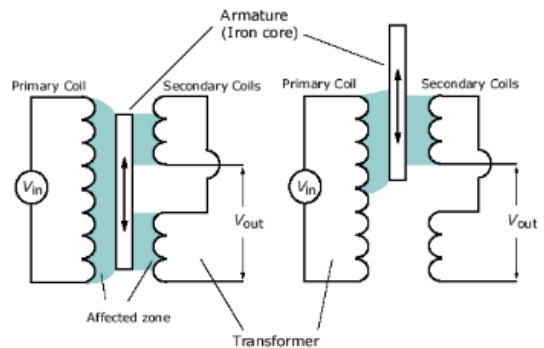
c. **Transduser Diferensial Variabel Linear (Linear Variable Differential Transducers / LVDT)**

LVDT digunakan untuk pengukuran perpindahan (*displacement*). LVDT terdiri dari tabung berlubang berisi batang logam (inti) yang dapat bergerak bebas maju-mundur sepanjang sumbu pengukuran. Inti tersebut dibuat dari material magnetik konduktif dan dikelilingi oleh lilitan kawat (Gambar 10).

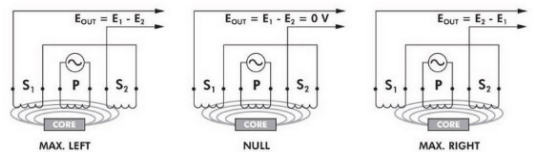


Gambar 10. LVDT dan bagian-bagiannya (sumber: www.motioncontroltips.com)

Seperti diperlihatkan pada Gambar 11, rangkaian lilitan terdiri dari tiga lilitan trafo. Sebuah lilitan primer sentral diapit oleh dua lilitan sekunder, satu pada setiap sisi. Keluaran lilitan sekunder disambungkan menggunakan kawat untuk membentuk rangkaian sirkuit yang berlawanan. Saat eksitasi AC diberikan kepada lilitan primer, arus induksi terbentuk dalam lilitan sekunder melalui inti konduktif magnetik. Saat inti bergerak sama diantara kedua lilitan sekunder, tidak terdapat tegangan yang terbentuk pada keluaran sekunder. Tetapi, saat inti bergerak, sebuah tegangan diferensial muncul pada keluaran sekunder. Besar tegangan keluaran (V_{out}) berubah secara linear dengan besar perpindahan inti dari posisi tengah, sementara arah perpindahan inti ditunjukkan oleh fasa tegangan keluaran (Gambar 12).



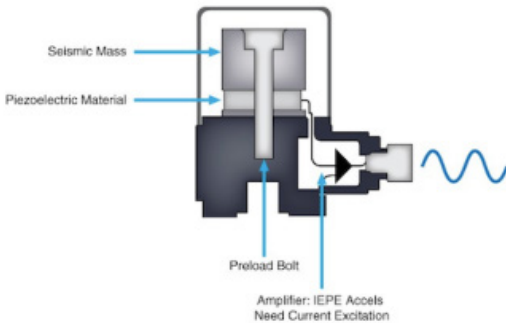
Gambar 11. Diagram skematik dari LVDT (Sadik Umar dan Umar Kangiwa Muhammad, 2018).



Gambar 12. Amplituda tegangan keluaran diferensial (selisih) menentukan jarak yang ditempuh, dan fasa tegangan keluaran menunjukan arah yang ditempuh (sumber: www.motioncontroltips.com).

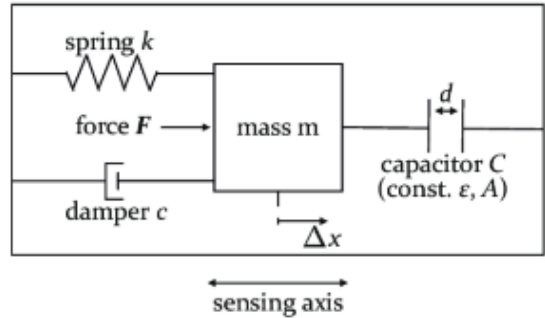
d. **Akselerometer**

Dalam teknik sipil, akselerometer yang umum digunakan adalah akselerometer piezoelektrik dan pegas-massa. Akselerometer piezoelektrik terdiri dari elemen kristal piezoelektrik dan massa yang dipasang pada dasar penyokong. Saat dasar penyokong bergerak, massa memberikan gaya inersia kepada elemen kristal piezoelektrik, menghasilkan sebuah muatan listrik yang proporsional (Gambar 13). Karena gaya tersebut sama dengan massa dikali percepatan, muatan proporsional dengan akselerasi.



Gambar 13. Sinyal tegangan keluaran akselerometer piezoelektrik elektronik terpadu (*integrated electronic piezoelectric / IEPE*) proporsional dengan gaya getaran terhadap kristal piezoelektrik (sumber: *www.motioncontroltips.com*).

Sementara itu, akselerometer pegas-massa bekerja seperti osilator teredam. Akselerometer ini menggunakan pegas berfungsi sebagai elemen pengembang yang mengalami perubahan regangan atau deformasi akibat perpindahan massa saat terjadi akselerasi. Perubahan ini kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang dapat diukur (Gambar 14).



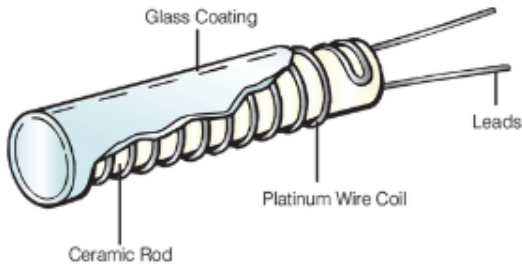
Gambar 14. Sketsa sistem pegas-massa-peredam dalam akselerometer sistem mekanik elektro mikro / MEMS Accelerometer (Benjamin H. Groh, 2021).

e. **Sensor Temperatur**

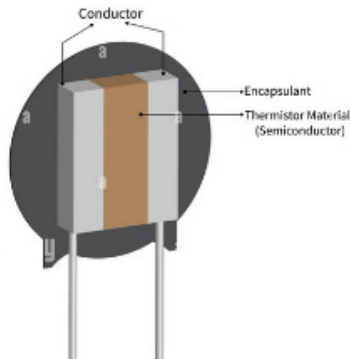
Temperatur dapat diukur menggunakan beragam sensor. Dalam teknik sipil, sensor yang umum digunakan adalah sensor temperatur tahanan dan sensor kawat bergetar. Sensor temperatur tahanan memanfaatkan fenomena bahwa tahanan listrik dari suatu material berubah seiring perubahan temperatur. Terdapat dua jenis sensor temperatur tahanan yaitu sensor metalik dan termistor.

Sensor metalik terdiri dari kawat platinum murni yang dililitkan sekitar mandrel (misalnya keramik) dan dilindungi kaca atau lapisan pelindung lainnya (Gambar 15). Perubahan tahanan listrik platinum terhadap temperatur bersifat linear. Variasi ini dapat dengan mudah dan akurat diukur dengan memasang sensor tersebut pada satu lengan dari rangkaian jembatan *Wheatstone*.

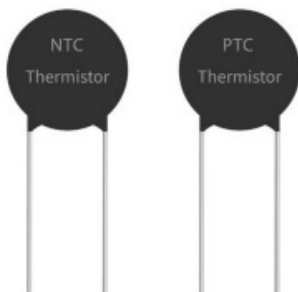
Termistor bekerja dengan memanfaatkan fenomena perubahan resistansi semikonduktor keramik (Gambar 16 dan 17). Hubungan tahanan-temperatur dari termistor bersifat negatif (*Negative Temperature Coefficient / NTC*) dan nonlinear. Termistor ini terbuat dari oksida nikel, kobalt, tembaga, besi dan titanium. Rentang operasi termistor lebih kecil daripada sensor temperatur logam tetapi memiliki rentang operasi lebih kecil.



Gambar 15. Skematik sensor temperatur tahanan metalik (platinum) (sumber: www.tc.co.uk).



Gambar 16. Termistor jenis NTC dan PTC (sumber: www.wattco.com).



Gambar 17. Komposisi termistor bead (sumber: www.alamy.com).

Sensor temperatur kawat bergetar bekerja seperti pengukur regangan kawat bergetar, memanfaatkan perbedaan koefisien ekspansi linear antara dua logam. Alat tersebut pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat yang direntangkan dengan tegangan tinggi dan bersifat magnetik, dengan

kedua ujungnya diikatkan kepada logam yang tak sama koefisien ekspansi linearnya. Saat temperatur berubah, tegangan pada kawat juga berubah, mengubah frekuensi getarannya. Data ini kemudian dikonversi menjadi tegangan listrik atau bacaan temperatur (Gambar 18). Sensor ini dibungkus dalam silinder untuk mencegah kontak langsung dengan objek yang diukur.



Gambar 18. Sensor temperatur kawat getar (sumber: www.indiamart.com).

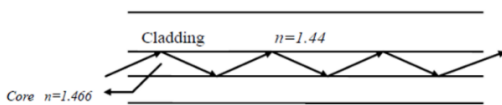
Teknologi Pengukuran Serat Optik dalam MKS Jembatan

Sensor serat optik (*Fiber Optic Sensor/FOS*) digunakan untuk mengukur regangan dan temperatur. Dibandingkan alat ukur konvensional, Menurut Pinet dkk. (2007) FOS memiliki beberapa keunggulan yakni,

- Stabilitas, sinyal cahaya dapat dikirim dalam jarak jauh dengan kehilangan transmisi yang sangat rendah, memungkinkan pemantauan jarak jauh.
- Non-konduktif, FOS bebas dari interferensi frekuensi elektromagnetik dan radio yang menghindari gangguan tidak diinginkan.
- Nyaman, FOS dan pengkabelannya sangat kecil dan ringan, sehingga memungkinkan untuk penggunaan permanen di dalam struktur.

Keunggulan tersebut didasarkan pada prinsip dasar serat optik, yang terdiri dari tiga bagian. Inti serat optik yang terbuat dari kaca atau serat optik plastik. Mantel (*cladding*) biasanya terbuat dari silika yang dicampur fluorida. Pelapis (*coating*) yang terbuat dari akrilat, yaitu sejenis plastik.

Dalam serat optik, pengiriman cahaya mengikuti Hukum Snellius dan konsep Pemantulan Internal Total. Seperti dalam Gambar 19, saat cahaya melintasi di dalam inti serat yang memiliki indeks bias (n_{inti}) yang tinggi, kepada bungkus dengan indeks bias ($n_{bungkus}$) yang lebih rendah, gelombang cahaya seluruhnya memantul kembali dari bungkus menuju daerah inti serat optik; yakni, dengan nilai sudut kritis/sudut batas yang kecil dari inti serat optik yang berindeks bias tinggi, cahaya yang datang dengan sudut yang tidak terlalu besar akan mengalami pemantulan sempurna, sehingga cahaya sebagai sinyal pengukuran sampai di ujung serat optik yang tersambung kepada alat pembaca data.



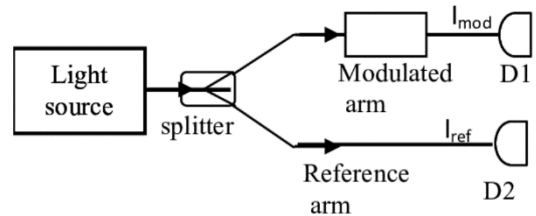
Gambar 19. Serat optik mode tunggal yang umum (Ansari, 1997).

Sensor serat optik dapat diklasifikasikan, berdasarkan letak modulasi, yaitu sensor intrinsik dan ekstrinsik. Pada sensor intrinsik, sifat dari cahaya, yaitu intensitas, fasa, atau polaritas berubah secara langsung sesuai dengan besaran yang diukur, misalnya regangan atau temperatur. Sementara, pada sensor ekstrinsik, terdapat modulator cahaya yang meneruskan informasi dari variabel yang diukur, sehingga tidak terdapat hubungan langsung antara cahaya dan variabel tersebut. Contoh kecepatan getaran, konsentrasi oksigen dalam darah, jenis bahan kimia, dan sebagainya.

Jenis Sensor Serat Optik

Sejumlah sensor serat optik telah dikembangkan berdasarkan modulasi yang berbeda dari sifat teknik pengukuran cahaya. Jenis sensor serat optik yang umum adalah sensor intensitas, sensor spektrometrik, sensor interferometrik dan sensor sebaran Brillouin. Sensor intensitas bekerja didasarkan pada modulasi intensitas cahaya yang berhubungan dengan sensitivitas serat optik terhadap perubahan lingkungan yang mengakibatkan perubahan karakteristik transmisi cahaya (intensitas cahaya). Perubahan tersebut dapat mengetahui perubahan kuantitas fisik (regangan, suhu, tekanan, medan listrik, medan magnet, dsb).

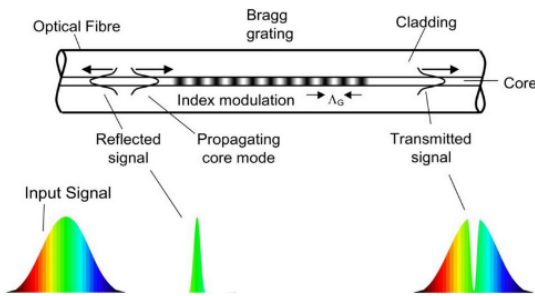
Proses difusi cahaya menjadi dua gelombang paralel oleh pemecah berkas, yakni berkas cahaya referensi dan dan berkas cahaya pengukuran (Gambar 20). Selanjutnya terjadi interferensi antara dua gelombang tersebut dan dihasilkan jumlah pinggiran interferensi yang berbeda. Dengan menghitung pergerakan modenya, perubahan kuantitas fisik dapat diukur.



Gambar 20. Susunan tipikal dari sensor serat modulasi intensitas dengan pemisahan cahaya menjadi dua lengan (Ahmad Marzuki, 2014).

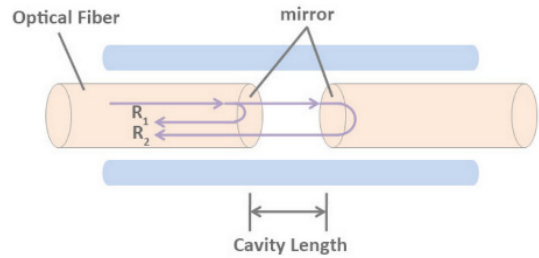
Jenis selanjutnya, sensor spektrometrik didasarkan kepada penghubungan perubahan panjang gelombang cahaya dengan besaran yang diukur, seperti regangan. Sebagai contoh sensor kisi Bragg (Morey et al. 1989) (Gambar 21).

Dalam sensor serat optik kisi Bragg (*Fiber Bragg Grating/FBG*), kisi optik (serangkaian pemantul kecil) di dalam serat optik. Kisi ini menentukan panjang gelombang cahaya yang dipantulkan saat pulsa cahaya melewatinya. Jika terjadi regangan, jarak kisi berubah, menyebabkan pergeseran panjang gelombang cahaya yang dipantulkan. Dengan teknik optik dan kalibrasi khusus, perubahan ini dikonversi menjadi nilai regangan yang terukur.



Gambar 21. Diagram skematik dari FBG yang memiliki indeks modulasi jarak AG di dalam serat optik mode-tunggal (Mihailov Stephen J., 2012).

Sensor interferometrik digunakan untuk mengukur besaran fisik dengan memanfaatkan interferensi cahaya dari dua serat mode-tunggal: satu sebagai lengan acuan dan satu lagi sebagai sensor aktual (Gambar 22). Sebuah pengecualian terhadap sensor interferometrik dua-lengan adalah sensor serat-tunggal Fabry-Perot (Claus et al., 1993). Dalam sensor jenis Fabry-Perot, serat dimanipulasi dengan dua pemantul (cermin) sejajar yang tegak-lurus dengan sumbu serat. Interferensi dari sinyal yang dipantulkan diantara kedua cermin membentuk pola interferensi. Pola interferensi yang dibentuk pada ujung keluaran fasa dari sensor secara langsung dikaitkan dengan intensitas medan regangan yang digunakan diantara kedua pemantul.

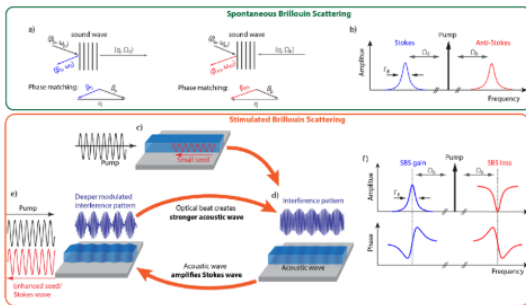


Gambar 22. Diagram skematik rongga interferensi Fabry-Perot (sumber: www.mdpi.com).

Seperti sensor FBG, sensor Fabry-Perot hanya mampu mengukur secara terlokalisasi pada jarak yang terbentuk di antara kedua cermin. Sensor Fabry-Perot tidak dapat digabung secara serial, tetapi sensor Fabry-Perot memiliki kapabilitas dinamik dan statik. Sensor Fabry-Perot bersifat dapat diikat, dilas, dan secara mudah ditanam ke dalam banyak material konstruksi, termasuk beton.

Sensor sebaran Brillouin didasarkan kepada penyebaran Brillouin memanfaatkan fenomena cahaya saat melintasi media transparan. Sebagian besar cahaya melintasi dalam arah lurus, tetapi sebagian kecilnya disebarkan ke belakang (**Gambar 23**). Komponen yang berbeda dari cahaya yang tersebar ke belakang dapat diidentifikasi, yakni sensitifitas pergeseran frekuensi Brillouin. Teknik tersebut menggunakan serat optik mode-tunggal rendah-rugi standar yang menawarkan rentang jarak yang sangat panjang dengan kinerja yang unggul dan kompatibilitas terhadap komponen telekomunikasi standar. Dalam teknologi ini, penyebaran Brillouin biasanya distimulasi secara optik yang menimbulkan intensitas mekanisme penyebaran yang sangat besar dan akibatnya diperolehnya rasio sinyal-terhadap-gangguan (*signal-to-noise ratio*) yang lebih baik.

Dari keempat jenis sensor di atas, sensor jenis intensitas bersifat sederhana untuk dibentuk tetapi sensitivitasnya cenderung rendah. Sensor interferometrik menawarkan sensitivitas tertinggi tetapi memerlukan komponen yang cukup rumit. Sensor serat optik yang paling banyak tersedia secara komersial adalah sensor FBG dan sensor Fabry-Perot.



Gambar 23. Penyebaran Brillouin spontan dan terstimulasi (Moritz Merklein, 2022).

Ke depan, teknologi sensor untuk SMKS jembatan akan terus berkembang dengan berbagai keunggulan. Sistem nirkabel diprediksi semakin dominan seiring dengan peningkatan kapasitas baterai dan miniaturisasi chip elektronik yang lebih hemat daya. Efisiensi energi yang semakin baik akan mendorong adopsi sensor nirkabel secara luas, menjadikannya lebih andal, praktis, dan efisien dalam pemantauan struktur jembatan. Inovasi ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem pemantauan dan memperpanjang umur infrastruktur secara signifikan.





Menilik Geologi Regional Sulut Dan Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung Dari Sudut Pandang Geologist

Oleh: Eka Dhamayanti

Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali

26

Kerusakan infrastruktur jalan sering dikaitkan dengan rendahnya kualitas material konstruksi, properti tanah, kualitas SDM Konstruksi maupun tingginya volume kendaraan. Namun, faktor geologi sering diabaikan, padahal Indonesia berada di sabuk vulkanis dengan risiko geologi tinggi. Kegagalan konstruksi akibat terabaikannya kondisi geologi bukanlah kasus baru di Indonesia. Kasus Hambalang misalnya, selain akibat korupsi, juga dipicu amblesan tanah yang memicu Lapangan *Indoor* dan *Power House* ambruk. Berdasarkan kajian tim audit teknis dari segi geologi dan geoteknik menunjukkan bahwa Hambalang termasuk dalam zona merah yang tidak boleh dihuni. Contoh lainnya, Jalan Tanjung Redeb di Kalimantan Timur yang terus ambles, menyebabkan biaya perbaikan miliaran rupiah tiap tahun.

Belajar dari kasus-kasus tersebut, peran ilmu geologi lebih diperhatikan. Menteri PUPR, Bapak Basuki Hadimuljono, menyatakan para ahli geologi punya posisi strategis dalam pembangunan infrastruktur karena ikut menentukan keselamatan dalam pembangunan infrastruktur dan dapat memberikan panduan bukan hanya sebagai pendukung semata.

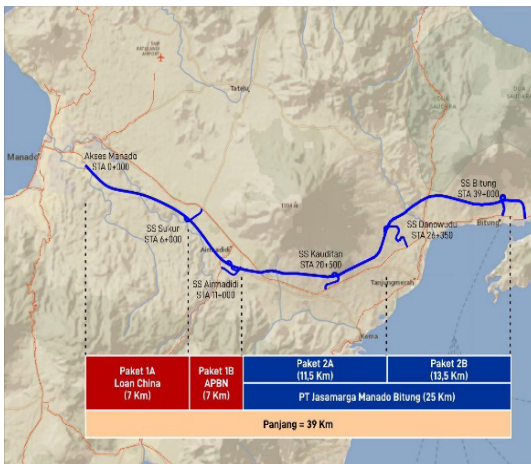
Para ahli geologi berperan penting untuk melakukan identifikasi dan analisis risiko, mitigasi, manajemen risiko serta komunikasi dengan *stakeholder* sehingga kegagalan konstruksi dapat diminimalisir.

Saat ini Pemerintah Indonesia telah berhasil membangun jalan tol sepanjang 2.816 Km yang terdiri dari 73 ruas tol. Jalan tol ini diharapkan mampu mempercepat aliran distribusi barang dan jasa, serta meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat. Salah satu jalan tol tersebut adalah Jalan Tol Manado – Bitung di Provinsi Sulawesi Utara (Sulut) yang telah diresmikan oleh Presiden Joko Widodo pada Bulan September 2020. Jalan tersebut memiliki total Panjang 39 Km dibangun dengan skema Kerja sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) dan masuk dalam Proyek Strategis Nasional (PSN). Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung perlu memperhatikan berbagai aspek, termasuk kondisi geologi daerah setempat. Trase jalan tol ini melalui wilayah dengan potensi bahaya geologi tinggi, namun hal tersebut tidak dibahas dalam laporan studi kelayakan oleh Dinas PU Provinsi Sulawesi Utara.

Perlu adanya kajian mengenai pengaruh kondisi geologi dan variasi batuan sepanjang trase Jalan Tol Manado – Bitung terhadap konstruksi jalan tol dan potensi bahaya geologi. Adapun kajian yang dilakukan adalah dimulai dengan pemaparan karakteristik geologi di Tol Manado – Bitung yang selanjutnya digunakan untuk merumuskan langkah-langkah mitigasi untuk mengantisipasi dampak kondisi geologi dalam penyelenggaraan Jalan Tol Manado – Bitung.

Karakteristik Geologi Tol Manado – Bitung

Jalan tol Manado – Bitung adalah tol pertama di Pulau Sulawesi dan bagian dari Proyek Strategis Nasional (PSN). Sesuai data Rapat Koordinasi Teknis Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) per Agustus 2019, tol sepanjang 39 Km ini dikelola BUJT PT. Jasa marga Manado Bitung (Gambar 1). Tol ini diperkirakan mampu mempersingkat waktu tempuh perjalanan dari Manado ke Bitung yang semula 90 sampai 120 menit menjadi sekitar 30 menit serta mengurangi beban jalan arteri nasional yang semakin padat akibat pertumbuhan jumlah kendaraan dan aktivitas ekonomi.



Sumber: Bidang Teknik BPJT (2019)

Gambar 1. Trase Jalan Tol Manado – Bitung

Kondisi Litologi Sepanjang Trase Jalan Tol Manado – Bitung

Trase Jalan Tol Manado – Bitung terdiri dari Satuan Tufa Tondano (Qtv) dan Satuan Gunung Api Muda (Qv). Satuan Tufa Tondano tersusun dari klastika kasar gunung api, seperti pecahan *pumice* (batu apung), *lapilli pumice*, breksi, *ignimbrit* tebal, dan berstruktur aliran (Effendi dan Bawono, 1997). Tomografi geolistrik oleh Nurdiyanto, dkk. (2016) melakukan identifikasi litologi pada lokasi rencana bendung dan terowongan di Sulawesi Utara yang berdekatan dengan trase Jalan Tol Manado – Bitung. Hasilnya menunjukkan daerah survei tersusun dari tufa Tondano dan tanah berupa lempung pasir dengan ketebalan hingga 15 m, lapisan di bawahnya berupa breksi Tondano yang telah lapuk menjadi pasir kelepungan dengan fragmen kerikil (40 – 125 Ω m) hingga bongkah (200 – 2000 Ω m) dengan ketebalan 10 – 35 m (Gambar 2). Endapan material hasil letusan gunung berapi ini diperkirakan berasal dari letusan hebat saat pembentukan Kaldera Tondano.

Satuan Tufa Tondano berumur Pliosen membentang dari Kota Manado ke sisi Tenggara hingga Maumbi, menumpang secara selaras di atas Satuan Tufa Tondano yaitu Satuan gunung api muda berumur Pleistosen hingga Holosen yang tersusun dari lava, bom, lapili, dan abu (Effendi dan Bawono, 1997). Satuan ini membentuk gunung api strato muda seperti Gunung Klabat dan Gunung Duasudara di sisi Utara dari trase jalan tol Manado – Bitung. Pemetaan geologi secara lebih detail dilakukan oleh Utami (2011) dan Pertamina *Upstream Technology Center* (2013) menunjukkan wilayah ini didominasi batuan vulkanik dengan morfologi yang terjal, termasuk lava andesit dan batuan hasil letusan gunung berapi yang terbentuk akibat erupsi Pangolombian, Kasuaratan, Lengkoan, Tampusu, dan Linau.

Dibandingkan wilayah Tengah dan Selatan Sulawesi yang lebih kuat, batuan di Lengan Utara lebih rentan terhadap kerusakan akibat beban, aktivitas seismik, dan pelapukan (Tabel 1). Batuan penyusun di suatu wilayah yang memiliki kekuatan lebih rendah ini berisiko lebih tinggi untuk mengalami kerusakan, terutama jika terpapar oleh beban tambahan, aktivitas seismik, atau proses pelapukan alami.

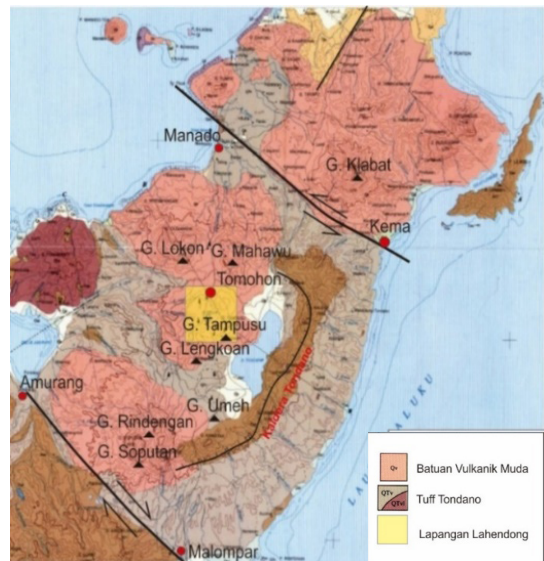
Provinsi Sulawesi Utara memiliki curah hujan yang tinggi dibanding dengan provinsi lain di Pulau Sulawesi. Curah hujan ini mempercepat pelapukan batuan, yang menjadi faktor penting dalam konstruksi Tol Manado–Bitung. Dalam kondisi iklim tropis, batuan mengalami proses kimia seperti hidrolisis dan oksidasi, yang mengubah komposisinya.

Hidrolisis melarutkan kation dari feldspar menghasilkan mineral lempung berupa kaolinit, montmorillonites, dan illites. Batuan vulkanik yang kaya mineral biotit (mineral penyusun batuan dengan unsur Fe) akan mengalami proses oksidasi dan reduksi sehingga mengonversi besi menjadi hematit dan goethite, cenderung memiliki sifat yang lebih rapuh, sehingga meningkatkan risiko pelapukan dan menurunkan kestabilan batuan, yang dapat memengaruhi daya dukung fondasi pada konstruksi jalan tol.

Selain itu, perubahan suhu ekstrem antara panas terik dan hujan deras membuat batuan pecah atau hancur secara bertahap.

Akibatnya, longsor tanah dan batuan berukuran bongkah (>256 mm) terjadi pada daerah satuan breksi Tondano di tebing-tebing sungai yang relatif terjal dengan kondisi sudah mulai lapuk hingga terdekomposisi, selain itu longsor juga terjadi pada tufa pasir, dikarenakan tufa pasir memiliki sifat yang mudah rapuh dan lepas (*loose*).

Selain memiliki risiko, batuan vulkanik juga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai material dasar (*base*) dalam pembangunan jalan tol atau jalan nasional di Provinsi Sulawesi Utara.



Sumber: Modifikasi dari Effendi dan Bawono (1997)

Gambar 2. Peta Geologi Daerah Sulawesi Utara. Tampak pada peta bahwa trase jalan tol Manado –Bitung selaras dengan sesar Manado – Kema dan didominasi oleh dua satuan yaitu Tufa Tondano (Qtv) dan Batuan Gunung api Muda (Qv)

Tabel 1. Klasifikasi batuan berdasarkan nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)

Table 3.10 **ROCK CLASSIFICATION BY UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH (UCS)**

Uniaxial compressive strength (MPa)	ISRM (1981)	BS 5939 (1999)	Bieniawski (1973)	Examples
<1	Soils			
<1.25	Very weak	Very weak	Very low	Salt, mudstone, silt, marl, tuff, coal
1.25-5		Weak		
5-12.5	Weak	Moderately weak		
12.5-25		Moderately strong		
25-50	Moderately strong		Low	
50-100	Strong	Strong	Medium	Schistose metamorphic rocks, marble, granite, gneiss, sandstone, porous limestone
100-200	Very strong	Very strong	High	Hard igneous and metamorphic rocks, highly cemented sandstone, limestone, dolomite
>200		Extremely strong	Very high	
>250	Extremely strong			

(Sumber : González de Vallejo & Ferrer (2011))

*Kotak Kuning menunjukkan kekuatan batuan penyusun wilayah Sulawesi Utara

**Kotak merah menunjukkan kekuatan batuan penyusun wilayah Sulawesi Selatan dan Tengah

Tabel 2. Jumlah Hari Hujan di Stasiun Pengamatan BMKG, 2011-2015

Provinsi	Stasiun BMKG	2011		2012		2013		2014		2015		Rata-rata	
		Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)	Jumlah Curah Hujan (mm)	Jumlah Hari Hujan (hari)
Sulawesi Utara	Kayuatu	3.031	276	3.013	230	3.720	265	2.835	229	1.807	127	2.881	225
Sulawesi Tengah	Mutiara SIS Al-Jufrie	667		760		906		705	167	461	68	700	47
Sulawesi Selatan	Maros4	3.465	176	2.493	191	3.973	213	2.739	190	3.382	155	3.210	185
Sulawesi Tenggara	Kendari	1.511	121			2.619	206	2.264	172	1.590	141	1.597	128
Sulawesi Barat	Majene	1.660	175	1.087	165	1.682	198	1.097	153	1.168	93	1.339	157

(Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika)

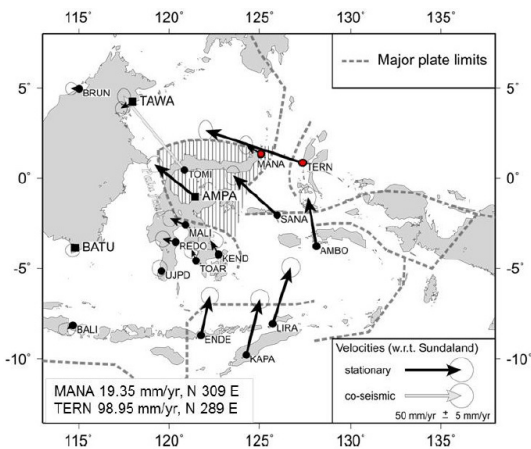
Tatanan Tektonik Sulawesi Utara

Lengan Utara Sulawesi terbentuk akibat proses subduksi, yaitu pergerakan lempeng tektonik di mana satu lempeng masuk ke bawah lempeng lainnya, yang dimulai sejak akhir Eosen. Subduksi ini terus mengalami evolusi hingga akhir Miosen. Tatanan geologi Lengan Utara Sulawesi sendiri tidak terlepas dari subduksi Sangihe yang dimulai

sejak 25 juta tahun yang lalu, membentuk rangkaian gunung berapi aktif, sementara subduksi pada Palung Sulawesi Utara yang dimulai sejak 7 juta tahun yang lalu (Brehme, et al. 2014).

Subduksi ganda dari lempeng Molucca Sea ke arah Barat dan Timur membentuk rangkaian gunung berapi yaitu busur Sangihe – Minahasa dan Halmahera, yang menjadi sumber panas bagi sistem panas bumi.

Busur Sangihe – Minahasa bergerak relatif ke arah Barat Laut (N 289 ° E - N 309 ° E) dengan kecepatan 19,35 mm/tahun (Sardiyanto, et al., 2015) (Gambar 3). Aktivitas vulkanik di sekitar jalan dapat memengaruhi stabilitas tanah akibat pelapukan, material lepas, atau endapan erupsi, serta berpotensi memicu gempa vulkanik. Namun, batuan vulkanik juga bermanfaat sebagai material konstruksi, terutama agregat untuk lapisan dasar jalan tol dan jalan nasional, meskipun penggunaannya perlu mempertimbangkan sifat mekanik dan kestabilannya.



Sumber: Walpersdorf, et al., (1998) dalam Sardiyanto, et al., (2015)

Gambar 3. Arah dan Kecepatan Pergerakan Lempeng di Indonesia bagian Timur

Kondisi Tektonik Sepanjang Trase Jalan Tol Manado – Bitung terhadap Konstruksi Jalan

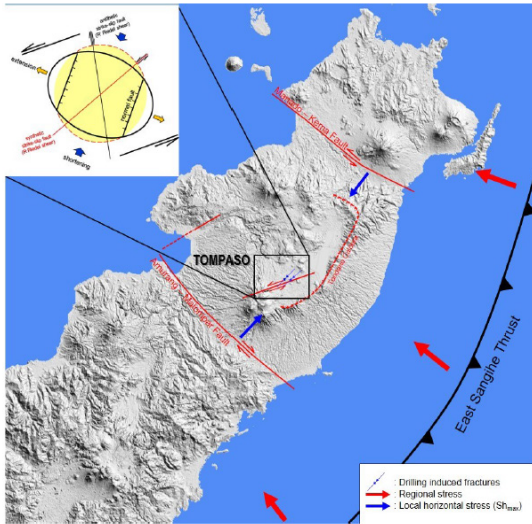
Trase Jalan Tol Manado – Bitung melintasi wilayah Minahasa pada Lengan Utara Sulawesi. Peristiwa tektonik dan vulkanisme pada wilayah Minahasa berdampak besar pada perkembangan struktur geologi di Lengan Utara Sulawesi.

Vulkanisme terjadi akibat subduksi kompleks lempeng laut Molucca yang mengalami dua subduksi yaitu di bawah Sangihe dan Halmahera (Hamilton, 1988 dalam Utami, 2015). Lempeng yang menunjam ke bawah di sebelah Barat dari lempeng Molucca, yang berada di bawah busur Sangihe, memiliki kemiringan antara 55–65° (Cardwell et al., 1980 dalam Utami, 2007).

Gunung api yang terbentuk pada Lengan Utara Sulawesi relatif memiliki orientasi Timur Laut – Barat Daya, gunung api tersebut diantaranya adalah Gunung Soputan, Lokon – Empung, Mahawu, Klabat, dan Duasudara, gunung api tersebut masih aktif hingga saat ini. Struktur geologi pada busur Minahasa – Sangihe dikontrol oleh dua sesar geser besar di sisi utara dan selatan dari Kaldera Tondano.

Menurut penelitian Sardiyanto (2015), interpretasi garis pantai sepanjang Lengan Utara Sulawesi, dapat dilihat bahwa kedua sesar tersebut memiliki arah pergerakan yang saling berlawanan. Sesar yang memanjang dari Manado hingga Kema merupakan sesar geser sinistral, sedangkan sesar Amurang – Malompar di sisi Selatan merupakan sesar geser dekstral (Gambar 4).

Patahan Manado–Kema, yang membentang sepanjang tol Manado–Bitung, masih aktif dan berpotensi bergeser. Ditambah pergerakan subduksi Busur Sangihe–Minahasa ke Barat Laut dengan kecepatan 19,35 mm/tahun, hal ini meningkatkan risiko gempa yang dapat berdampak pada konstruksi jalan tol. (Gambar 4).



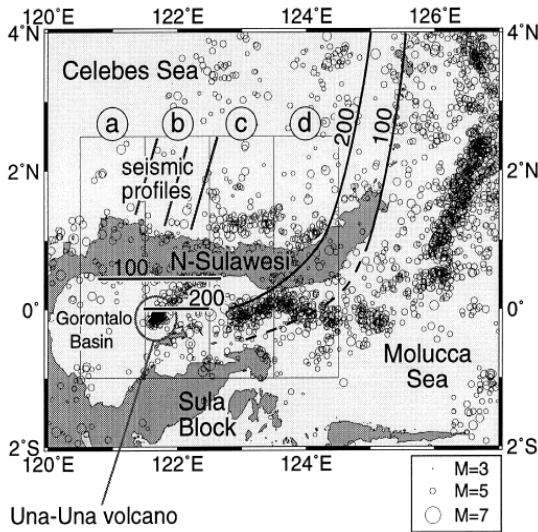
Sumber: Sardiyanto, *et al.*, (2015)

Gambar 4. Orientasi Arah Gaya Regional dan Struktur Geologi Lokal di Lengan Utara Sulawesi

Implikasi Kondisi Geologi Sepanjang Trase Jalan Tol Manado-Bitung terhadap Konstruksi Jalan

Curah hujan tinggi mempercepat pelapukan batuan, terutama batuan gunung api muda yang rapuh (*loose*) dan memiliki banyak retakan akibat aktivitas tektonik. Porositas yang tinggi menyebabkan air hujan mudah masuk melalui celah-celah batuan dan menyebabkan pelapukan batuan. Pelapukan yang terjadi dapat menurunkan *compressive strength* atau kekuatan tekan dari batuan, yaitu kemampuan batuan untuk menahan tekanan sebelum hancur, sehingga mudah memicu amblesan dan tanah longsor. Kondisi tektonik regional Lengan Utara Sulawesi memicu banyak gempa tektonik, terutama di zona subduksi Busur

Sangihe – Minahasa di sisi timur (Gambar 5) dengan magnitudo bervariasi. Karena subduksi ini masih aktif, potensi gempa di masa depan perlu diwaspadai. Oleh karena itu, konstruksi Jalan Tol Manado–Bitung harus dirancang tahan gempa, disesuaikan dengan data historis gempa di sekitar trase jalan tol. Data episenter yang dihimpun dari beberapa stasiun pusat seismologi menunjukkan gempa yang sering terjadi di sekitar trase Jalan Tol Manado - Bitung berkisar antara Magnitudo 3 – 5. Berdasarkan studi oleh Poedjoprajitno (2012), daerah Semenanjung Manado terbagi menjadi tiga wilayah MMI berdasarkan intensitas kegempaan yaitu V, VI, dan VII MMI. Daerah Bitung yang tersusun oleh *alluvium* memiliki intensitas VI MMI. Pada intensitas ini, dapat terjadi likuifaksi yang menyebabkan kerusakan jalan, seperti retakan atau penurunan permukaan, terutama di tanah lunak. Pada intensitas lebih rendah (IV-V MMI), menyebabkan kerusakan kecil seperti retakan halus. Namun, pada intensitas lebih tinggi (VII-IX MMI), kerusakan bisa lebih parah, termasuk jalan amblas, pergeseran trase, dan hancurnya struktur seperti jembatan, yang dapat mengganggu fungsi jalan nasional atau jalan tol. Setiawan, *et al.* (2002) dalam Poedjoprajitno (2012) menghitung nilai bahaya guncangan gempa bumi (dalam satuan g) pada batuan dalam selang waktu 10, 25, dan 50 tahun (Tabel 3) di beberapa kota. Hasilnya menunjukkan, Kota Bitung memiliki nilai rata-rata tertinggi sehingga pembangunan infrastruktur di Pantai Bitung membutuhkan rekayasa teknik yang tinggi.



Sumber : Cardwell *et al.*, (1980) dalam Kopp *et al.* (1999).

Gambar 5. Seismik dari Molucca dan Zona Subduksi Sulawesi Utara (distribusi dari episenter sekitar Sulawesi Utara) dikumpulkan selama kurun 1959 hingga 1977

*huruf M singkatan dari magnitude (skala kekuatan gempa), semakin tinggi angka M menunjukkan semakin tinggi kekuatan gempa.

** Garis-garis berlabel (200, 100) menunjukkan kontur kedalaman lempeng subduksi Maluku dan Laut Sulawesi berdasarkan Cardwell *et al.* (1979), yang bertemu di Cekungan Gorontalo pada kedalaman 200 km.

Tabel 3. Perhitungan Nilai Bahaya Goncangan Gempa Bumi Dalam Satuan (G) Pada Batuan Untuk Selang Waktu 10, 25, Dan 50 Tahun

Nama Kota	10 Tahun (g)	25 Tahun (g)	50 Tahun (g)
Manado	0,100	0,128	0,154
Wori	0,098	0,127	0,152
Likupang	0,102	0,130	0,155
Bitung	0,114	0,141	0,166
Tomohon	0,102	0,131	0,156
Tondano	0,101	0,104	0,157
Kakas	0,105	0,135	0,160
Langowan	0,107	0,136	0,161

Sumber : Setiawan, *et al.* (2002) dalam Poedjoprajitno (2012)

Potensi Likuifaksi di Sepanjang Trase Jalan Tol Manado – Bitung, Sulawesi Utara

Pertanyaan menarik muncul, dengan kondisi litologi dan tektonik di Lengan Utara Sulawesi, apakah ada kemungkinan terjadinya likuifaksi seperti yang terjadi saat gempa Palu dan Donggala tahun 2018?. Menurut Hutagalung & Tarigan (2019), likuifaksi adalah proses hilangnya kekuatan tanah akibat tegangan air pori yang timbul akibat beban siklis (berulang).

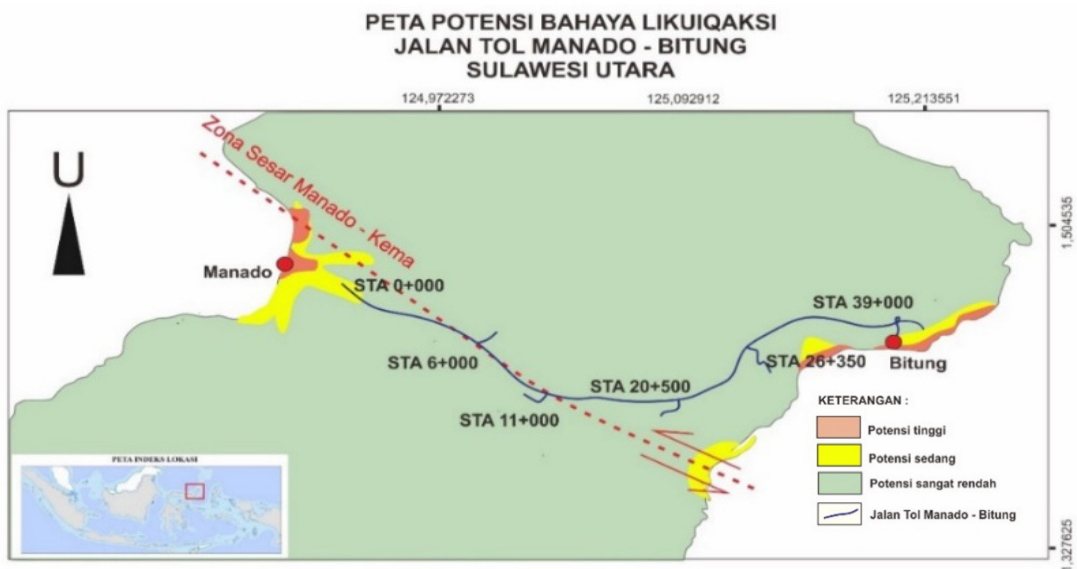
Potensi likuifaksi dapat diidentifikasi menggunakan metode kualitatif dan metode kuantitatif. Secara kuantitatif dapat dilakukan dengan metode uji penetrasi standar (SPT) dan *probabilistic/reliability index* (β). Selanjutnya, metode kualitatif memberikan gambaran umum tentang potensi likuifaksi dalam skala formasi batuan sehingga dapat menjadi studi pendahuluan.

Penulis mencoba untuk mengkategorikan litologi pada berdasarkan penilaian kualitatif sesuai kriteria menurut Keith, dkk., (1999) dalam Widyaningrum (2012) dan menandai daerah yang memiliki potensi likuifaksi (Gambar 6).

Terlihat bahwa Kota Manado dan Bitung memiliki potensi tinggi hingga sangat tinggi mengalami bahaya likuifaksi, hal ini disebabkan litologinya yang tersusun dari endapan aluvial (bongkah, kerakal, kerikil, pasir, dan lumpur) dan endapan danau dan sungai (pasir, lanau, konglomerat, dan lempung napalan) dengan kondisi muka air tanah yang dangkal.

Tabel 4. Potensi liquifaksi di sekitar trase Jalan Tol Manado – Bitung secara kualitatif

Formasi Batuan	Litologi non kohesif dan urai < 12 m	Umur Formasi	Kedalaman muka air tanah (mat) < 10 m	Potensi Liquifaksi
Aluvium : bongkah, kerakal, kerikil, pasir, dan lumpur (Qal)	Ya	Holosen	Ya	Potensi sangat tinggi
Endapan danau dan sungai : pasir, lanau, konglomerat, dan lempung napalan (Qs)	Ya	Plistosen	Ya	Potensi Tinggi
Batuan gunung api muda : lava, bom, lapili, dan abu (Qv)	Ya	Plistosen – Holosen	Tidak	Potensi Moderate
Tufa Tondano : klastika kasar gunung api yang terutama berkomposisi andesit, tanah lempung pasiran (Qtv)	Tidak	Pliosen - Plistosen	Tidak	Tidak Rentan Likuifaksi



Gambar 6 Peta Potensi Bahaya Liquifaksi di sekitar trase Jalan Tol Manado – Bitung

Langkah Mitigasi Dampak Geologi pada Penyelenggaraan Jalan Tol Manado – Bitung

Tahapan Perencanaan

Dalam perencanaan dan pembangunan jalan, analisis geologi yang menyeluruh sangat penting untuk memastikan keberhasilan pelaksanaan dan pemeliharaan jalan. Proses ini dilakukan sebelum tahap prastudi kelayakan untuk memberikan gambaran awal mengenai potensi geologi yang mungkin mempengaruhi infrastruktur jalan. Analisis ini mencakup beberapa aspek penting yang saling terkait.

Pertama, analisis geologi regional memberikan gambaran umum kondisi geologi di wilayah proyek, termasuk jenis batuan dan formasi geologi yang mempengaruhi kestabilan serta daya dukung jalan yang akan dibangun. Pemahaman ini membantu perencana mengidentifikasi potensi risiko dan tantangan yang mungkin timbul selama konstruksi dan pemeliharaan.

Kedua, pemetaan geologi spesifik dilakukan untuk mengidentifikasi jenis batuan, struktur geologi, dan potensi bahaya geologi di sepanjang trase jalan, serta potensi bahaya geologi seperti longsor atau retakan. Dengan pemetaan yang akurat, langkah-langkah mitigasi dapat dirancang dengan lebih efektif. Selanjutnya, pemetaan geologi teknik merupakan komponen kunci dalam analisis ini, bertujuan untuk mengklasifikasikan massa batuan, menilai daya dukung batuan, serta mengkaji sifat fisik dan mekanik batuan dan tanah.

Informasi ini sangat penting untuk merancang konstruksi jalan yang dapat menahan beban dan kondisi lingkungan bervariasi. Selain itu, menentukan jenis fondasi dan struktur yang diperlukan dalam menjamin kestabilan jalan.

Analisis hidrogeologi penting untuk mengetahui kondisi muka air tanah di lokasi proyek. Peningkatan muka air tanah dapat mengurangi daya dukung tanah dan meningkatkan risiko terjadinya longsor atau penurunan tanah. Analisis hidrogeologi berfungsi untuk memprediksi potensi masalah yang berkaitan dengan air tanah dan merancang langkah-langkah pengendalian yang tepat.

Di samping itu, analisis kegempaan diperlukan di wilayah rawan gempa. Dengan mempelajari karakteristik gempa masa lalu dan memperhitungkan potensi gempa yang akan datang, perencana dapat merancang struktur jalan yang lebih tahan terhadap guncangan seismik. Perencana dapat memastikan jalan yang dibangun tetap aman dari aktivitas seismik di masa mendatang.

Untuk meningkatkan efektivitas perencanaan, analisis geologi perlu dimasukkan dalam peraturan teknis pembangunan jalan. Saat ini, aspek geologi belum sepenuhnya tercakup pada peraturan, sehingga kolaborasi dengan Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bahaya Geologi (PVMBG), dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) sangat diperlukan. Kolaborasi ini dapat memperkuat kajian geologi dan bahaya geologi serta meningkatkan ketepatan perencanaan dan konstruksi jalan. Pendekatan yang komprehensif dan efektif dalam analisis geologi dan kolaborasi, perencanaan hingga pembangunan jalan dapat dilakukan dengan lebih aman dan berkelanjutan, mengurangi risiko kerusakan, dan meningkatkan ketahanan infrastruktur jalan terhadap potensi bahaya geologi.

Tahapan Pelaksanaan

Untuk trase jalan yang sudah dibangun namun belum memperhitungkan aspek geologi, dapat melakukan tahapan berikut:

1. Kajian aspek geologi pasca pembangunan

Bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kerusakan jalan akibat aspek geologi. Beberapa metode yang dapat digunakan antara lain analisis data geofisika, seperti survei geolistrik, survei seismik, dan survei magnetik untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan. Selain pemodelan numerik, data yang diperoleh di lapangan kemudian dimodelkan dengan metode elemen hingga untuk mengetahui kestabilan lereng suatu jalan. Apabila terindikasi adanya potensi bencana akibat aspek geologi maka dapat disusun rencana mitigasi bahaya geologi,

2. Mitigasi potensi bahaya geologi

Bahaya geologi adalah potensi kerusakan akibat fenomena geologi, seperti longsor, gempa bumi, atau aktivitas vulkanik. Proses ini adalah tahapan selanjutnya setelah kajian geologi dilakukan. Misalnya, untuk jalan yang berada di samping tebing yang rawan longsor maupun di lereng gunung, selain dilakukan perkuatan lereng dengan *soil nailing* dan pemasangan sistem peringatan dini (*Early Warning System/EWS*) juga penting. Sistem ini memantau pergerakan masa batuan sehingga dapat dilakukan tindakan preventif sebelum longsor terjadi.

Contoh lain adalah penurunan jalan pada permukaannya, setelah dilakukan kajian aspek geologi ditemukan rongga bawah tanah yang sebelumnya tidak teridentifikasi. Melalui survey geofisika, lokasi dan dimensi rongga tersebut dan dapat dilakukan injeksi maupun penguatan pondasi.

Tahap Pemeliharaan

Pada tahap pemeliharaan, pendekatan yang holistik dan berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi risiko kerusakan jalan akibat aspek geologi. Berikut langkah-langkah yang disarankan:

1. Monitoring berkala dilakukan dengan mengamati secara rutin kondisi jalan, terutama di wilayah yang rawan longsor, penurunan tanah, atau dampak aktivitas vulkanik. Teknologi pemantauan, seperti sensor deformasi, kamera pengawas, dan perangkat sistem peringatan dini (EWS), digunakan untuk mendeteksi pergerakan tanah secara *real-time*.

2. Pemeliharaan preventif mencakup tindakan seperti penambalan retakan kecil atau perkuatan lapisan aspal sebelum kerusakan semakin meluas. Selain itu, pembersihan saluran drainase secara rutin juga penting untuk mencegah erosi atau pelapukan akibat aliran air yang tidak terkendali.

3. Jika kerusakan signifikan terjadi akibat bahaya geologi, seperti longsor atau amblas, langkah pemulihan cepat perlu dilakukan. Ini mencakup mobilisasi tim pemeliharaan beserta alat berat ke lokasi untuk melakukan perbaikan segera. Selain itu, struktur jalan dapat ditingkatkan dengan material yang lebih tahan terhadap kondisi geologi setempat untuk mencegah kerusakan serupa di masa depan.

Untuk meminimalkan dampak kerusakan jalan akibat aspek geologi, diperlukan pendekatan terintegrasi mulai dari tahap perencanaan, pembangunan, hingga pemeliharaan. Pengelolaan infrastruktur jalan yang efektif memerlukan langkah-langkah strategis yang berorientasi pada pemahaman mendalam mengenai kondisi geologi dan dampaknya terhadap kestabilan jalan.

1. Perumusan peraturan yang mendasari kajian geologi secara menyeluruh adalah langkah fundamental. Peraturan ini harus mencakup pedoman yang jelas mengenai analisis geologi, termasuk aspek litologi, geomorfologi, struktur geologi, hidrogeologi, dan potensi bahaya

geologi. Regulasi yang komprehensif ini bertujuan untuk memastikan semua proyek pembangunan jalan, terutama jalan tol, mempertimbangkan dan memitigasi risiko geologi sejak tahap awal. Regulasi yang dapat dijadikan acuan meliputi Standar Nasional Indonesia (SNI 8460:2017) untuk perancangan geoteknik, pedoman internasional seperti *Federal Highway Administration* (FHWA), serta pedoman dari *Japan Society of Civil Engineers* (JSCE) yang mengatur pendekatan geoteknik untuk infrastruktur transportasi.

2. Implementasi kajian geologi pada proyek strategis nasional menjadi krusial. Proyek-proyek ini seringkali berdampak besar terhadap infrastruktur dan ekonomi nasional, sehingga diperlukan evaluasi geologi yang mendalam untuk memastikan bahwa pembangunan dilakukan dengan mempertimbangkan semua risiko yang terkait. Evaluasi geologi ini mencakup pemetaan geologi dan analisis risiko spesifik lokasi proyek untuk merancang struktur jalan yang tahan terhadap potensi bahaya geologi.

Evaluasi dampak dari kajian geologi yang komprehensif terhadap pembangunan jalan harus dilakukan secara berkala.

Evaluasi ini menguji hasil analisis geologi dengan realitas lapangan untuk mengidentifikasi potensi masalah dan menilai efektivitas langkah-langkah mitigasi yang diterapkan. Pendekatan ini memungkinkan penyesuaian dan perbaikan yang diperlukan untuk mengatasi kekurangan dalam desain dan konstruksi jalan.

Langkah berikutnya, implementasi kajian geologi komprehensif pada setiap proyek pembangunan jalan di Indonesia. Ini mencakup penerapan standar dan pedoman geologi dalam perencanaan, desain, dan pelaksanaan proyek.

Penerapan ini harus konsisten dan menyeluruh, mulai dari jalan tol hingga jalan lokal, untuk memastikan bahwa semua aspek geologi dipertimbangkan dan risiko diminimalisir dengan penerapan yang telah diuraikan sebelumnya. Aspek geologi yang perlu dipertimbangkan mencakup:

- **Litologi:** Jenis dan karakteristik batuan penyusun, termasuk kekuatan, porositas, dan ketahanan terhadap erosi.
- **Geomorfologi:** Bentuk permukaan tanah, seperti kemiringan lereng dan kerentanan terhadap longsor.
- **Struktur geologi:** Keberadaan sesar atau patahan aktif yang dapat memengaruhi stabilitas jalan.
- **Hidrogeologi:** Kondisi air tanah yang dapat menyebabkan penurunan tanah atau erosi bawah permukaan.
- **Bahaya geologi:** Potensi risiko akibat gempa bumi, longsor, atau aktivitas vulkanik yang dapat memengaruhi infrastruktur jalan.

Selain itu, penting untuk mengimplementasikan kajian geologi pada jalan yang sudah terbangun. Pemeliharaan dan evaluasi berkala membantu mendeteksi masalah geologi yang dapat muncul seiring waktu, menjaga jalan tetap aman dan fungsional. Dengan integrasi kajian geologi dalam setiap tahap pembangunan dan pemeliharaan, dampak kerusakan dapat diminimalisir, meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan.

Rekomendasi Penanganan Kondisi Geologi Sulawesi Utara

Kondisi geologi di Sulawesi Utara, terutama sepanjang trase Jalan Tol Manado – Bitung, dipengaruhi oleh Satuan Tufa Tondano dan Satuan Gunung Api Muda.

Trase ini berada di Lengan Utara Sulawesi, bagian dari rangkaian gunung api aktif akibat subduksi yang terjadi sejak akhir Eosen. Vulkanisme di wilayah ini dipicu oleh subduksi kompleks lempeng Laut Molucca, yang mempengaruhi kondisi litologi dan tatanan tektonik sepanjang trase tersebut.

Kondisi geologi yang kompleks di sepanjang trase Jalan Tol Manado – Bitung berimplikasi besar terhadap konstruksi jalan tol. Struktur geologi yang dipengaruhi oleh vulkanisme dan aktivitas tektonik menimbulkan tantangan tersendiri, seperti potensi longsor dan pergerakan tanah yang dapat mengancam kestabilan jalan. Untuk menangani potensi bahaya akibat kondisi geologi di Jalan Tol Manado-Bitung, diperlukan pemahaman mendalam tentang kondisi geologi, pendekatan yang terencana dan komprehensif.

Langkah pertama, melakukan kajian geologi yang mendalam dan komprehensif sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan proyek. Kajian ini mencakup identifikasi dan analisis berbagai faktor geologi yang mungkin mempengaruhi stabilitas dan keberlanjutan infrastruktur jalan. Mengingat kompleksitas kondisi geologi di Sulawesi Utara, khususnya dengan adanya Satuan Tufa Tondano, Satuan Gunung api Muda, pengaruh aktivitas vulkanik dan tektonik. Kajian ini harus mencakup evaluasi risiko geologis seperti potensi longsor, pergerakan tanah, dan aktivitas vulkanik yang aktif.

Setelah jalan tol selesai dibangun, perlu dilakukan evaluasi berkala untuk mendeteksi adanya perubahan geologi yang dapat mempengaruhi stabilitas jalan tol, sehingga tindakan mitigasi dapat segera diambil sebelum masalah berkembang lebih jauh. Evaluasi ini juga memungkinkan penyesuaian atau perbaikan infrastruktur jika diperlukan, untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan jalan tol.

Langkah selanjutnya, regulasi dan pedoman geologi yang jelas dan komprehensif harus diterapkan sejak tahap perencanaan hingga operasional proyek. Regulasi ini mencakup prosedur standar untuk menangani berbagai kondisi geologi serta langkah-langkah mitigasi dalam berbagai skenario. Contohnya, penilaian risiko geologi awal dilakukan melalui survei lapangan detail untuk mengidentifikasi masalah seperti tanah lunak, batuan lemah, atau zona sesar aktif. Pedoman desain geoteknik dapat mengacu pada standar seperti SNI 8460:2017 atau Panduan JSCE untuk memastikan struktur tahan terhadap bahaya geologi. Pengawasan ketat selama konstruksi diperlukan agar spesifikasi teknis terkait kondisi geologi, seperti kedalaman fondasi di tanah lunak atau penggunaan material tahan erosi, terpenuhi. Setelah konstruksi, pemantauan dengan sistem sensor deformasi tanah (EWS) membantu mendeteksi pergerakan tanah atau massa batuan. Rencana mitigasi khusus, seperti pemasangan dinding penahan tanah, *soil nailing*, atau pengaturan drainase di area rawan longsor, perlu diterapkan. Semua pihak yang terlibat, termasuk kontraktor, konsultan, dan pemerintah, harus memahami implikasi geologi terhadap konstruksi dan operasi jalan tol. Pelatihan khusus mengenai identifikasi potensi bahaya geologi dan strategi penanganannya menjadi langkah strategis untuk mendukung implementasi regulasi ini.

Dalam keseluruhan proses, integrasi antara disiplin ilmu geologi, teknik sipil dan manajemen proyek menjadi kunci keberhasilan. Pendekatan multidisiplin ini akan memastikan bahwa jalan tol tidak hanya dibangun dengan mempertimbangkan aspek teknis, tetapi juga pemahaman mendalam tentang kondisi alam yang melingkupinya. Risiko yang terkait dengan kondisi geologi dapat diminimalisir, sehingga infrastruktur lebih tahan lama, aman, dan bermanfaat bagi masyarakat.



Cita-cita persatuan Indonesia itu
bukan omong kosong,

” Tetapi benar-benar didukung oleh
kekuatan-kekuatan yang timbul pada
akar sejarah bangsa kita sendiri

-Mohammad Yamin-



Lajur Khusus Sepeda Motor Alternatif Peningkatan Keselamatan Mobilitas di Jalan Raya

Oleh: Zulaikha Budi Astuti

Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI. Yogyakarta

Sepeda motor masih menjadi andalan mobilitas masyarakat Indonesia, namun sekaligus menempati posisi paling rentan di jalan raya. Data kecelakaan menunjukkan mayoritas insiden melibatkan sepeda motor pada lalu lintas campur, menjadikan mengapa pembangunan lajur khusus sepeda motor menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan keselamatan perjalanan.

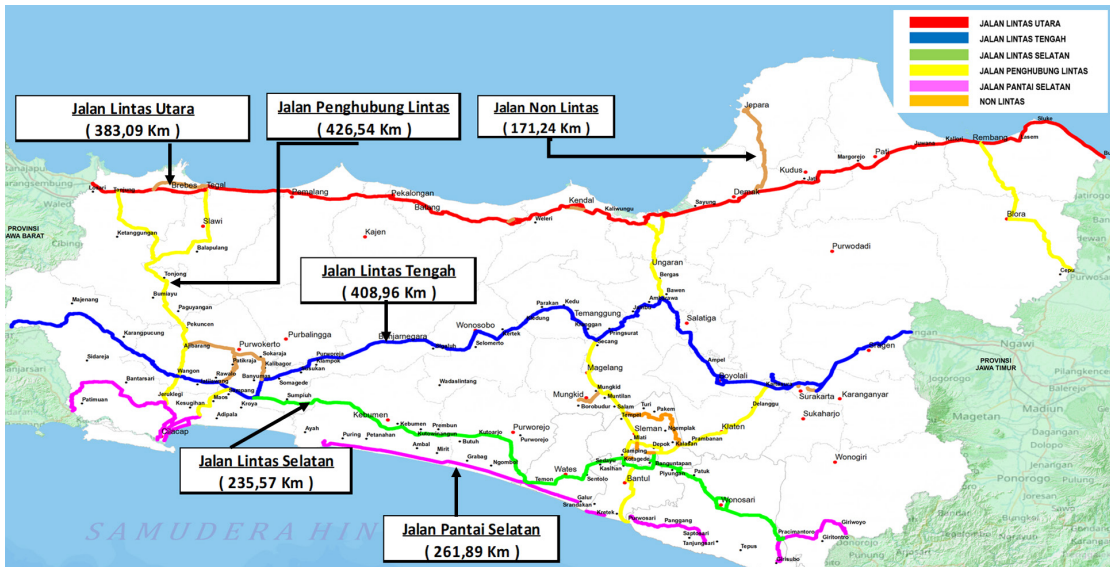
JARINGAN JALAN NASIONAL PULAU JAWA

Pulau Jawa memiliki jaringan jalan nasional yang membentang dari barat hingga timur, terdiri dari Jalan Lintas Utara Jawa, Jalan Lintas Tengah Jawa, Jalan Lintas Selatan Jawa dan Jalan Tol Trans Jawa. Keberadaan jalan – jalan tersebut memberikan kepada masyarakat pilihan prasarana yang lebih efisien, efektif, dan ekonomis untuk mobilitas dan distribusi logistik.



Gambar 1. Jaringan Jalan Nasional Pulau Jawa Sumber: Satuan Kerja Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024

Di Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta, jaringan jalan nasional meliputi Jalan Lintas Utara, Jalan Lintas Tengah, Jalan Lintas Selatan dan Jalan Pantai Selatan. Selain itu, terdapat pula jalan penghubung lintas yang menghubungkan Jalan Lintas Utara dan Selatan. Hingga kini, pembangunan jaringan Jalan Pantai Selatan masih berlanjut, dengan proyek terakhir yang tengah diselesaikan pada Jalan Kretek-Girijati dan Jembatan Pandansimo.



Gambar 2 Jaringan Jalan Nasional Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta
 Sumber: Satuan Kerja Pembangunan Jalan Nasional Provinsi D.I. Yogyakarta, 2024

Selain jalan nasional, di Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta juga telah terbangun jaringan jalan tol yang menjadi bagian dari Jalan Tol Trans Jawa. Beberapa ruas jalan tol sudah beroperasi, seperti Tol Kanci-Pejagan, Tol Pejagan-Pemalang, Tol Pemalang-Batang, Tol Batang-Semarang, Tol Semarang-Solo, Tol Solo-Ngawi, Tol Kartosuro-Prambanan.

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



Gambar 3 Jaringan Jalan Tol di Provinsi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta
 Sumber: Direktorat Jalan Bebas Hambatan, 2025

Selain jalan tol yang telah beroperasi, saat ini masih ada sejumlah ruas yang tengah dibangun. Seperti, Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYA Kulonprogo segmen Prambanan-Purwomartani-Maguwoharjo dan JC Sleman-Trihanggo, Jalan Tol Yogyakarta-Bawen dan Jalan Tol Semarang-Demak. Hadirnya jalan tol di Pulau Jawa akan semakin melengkapi jaringan Trans Jawa sekaligus memberikan pilihan bagi masyarakat.

PERTUMBUHAN KENDARAAN BERMOTOR

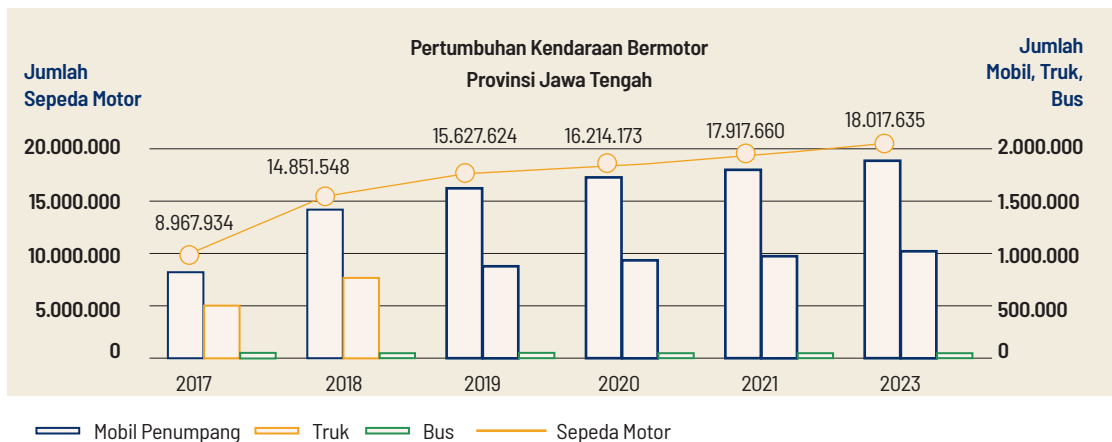
Jaringan jalan yang telah terbangun di Pulau Jawa memberi kemudahan mobilisasi bagi masyarakat. Akses transportasi yang semakin lancar diharapkan mampu mendorong adanya pertumbuhan ekonomi wilayah, karena pergerakan orang dan distribusi logistik lebih cepat dan efisien.

Di sisi lain pertumbuhan kendaraan bermotor, khususnya kendaraan pribadi juga terpacu dengan adanya fasilitas prasarana jalan yang semakin baik. Data Badan Pusat Statistik memperlihatkan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor dari tahun 2018 hingga 2023 semakin meningkat setiap tahunnya sebagaimana ditunjukkan dalam grafik berikut.

Pertumbuhan kendaraan bermotor pribadi menunjukkan nilai yang cukup signifikan, terutama kepemilikan mobil penumpang dan sepeda motor. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir, kepemilikan sepeda motor meningkat rata-rata 5% per tahun. Pada tahun 2023, jumlah kepemilikan sepeda motor di Provinsi Jawa Tengah menunjukkan jumlah sekitar 18 juta unit.

Fenomena ini mengubah pola transportasi masyarakat. Dahulu, hirearki perjalanan dimulai dari penggunaan sepeda motor di kawasan permukiman, kemudian di jalan arteri menggunakan kendaraan umum. Namun, sejak akhir 1990-an, pola tersebut hampir hilang, terutama sejak masuknya kendaraan bermotor dari China dengan harga yang relatif lebih rendah yang pada akhirnya menurunkan harga jual kendaraan roda dua.

Sementara itu, perkembangan transportasi publik berbasis massa justru berjalan tersendat. Layanan yang tersedia belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat, sementara biaya transportasi publik terus meningkat setiap tahunnya. Akibatnya pilihan menggunakan angkutan umum semakin berkurang dan moda ini hanya digunakan oleh masyarakat yang tidak memiliki kendaraan pribadi.



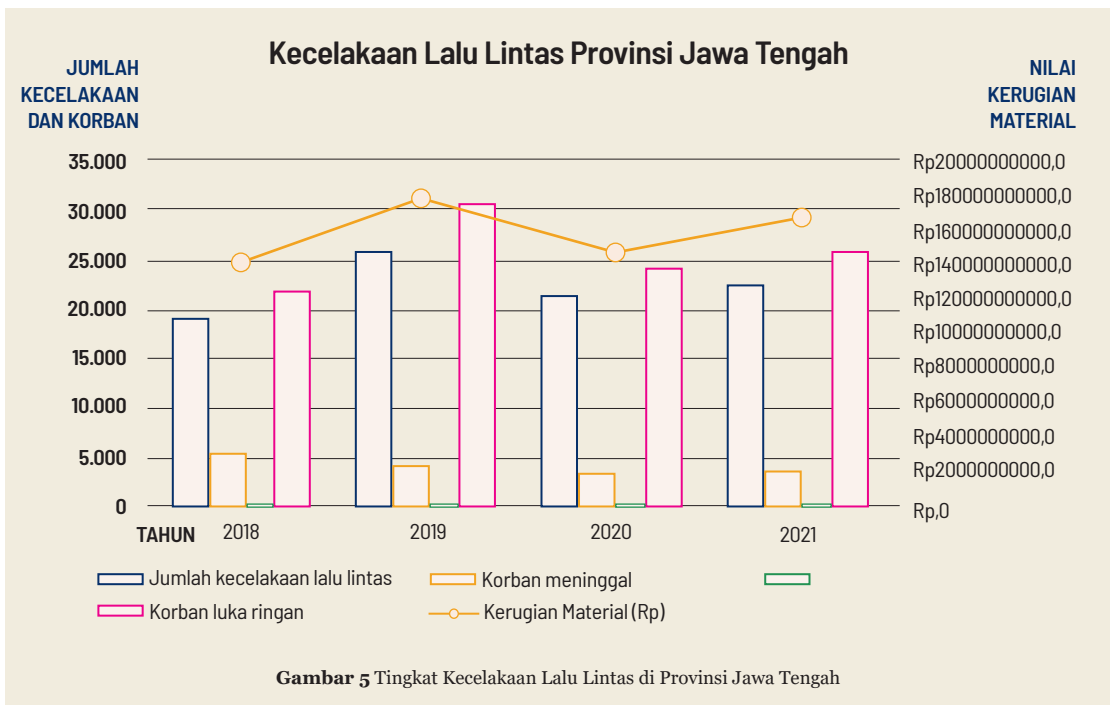
Gambar 4 Pertumbuhan Kendaraan Bermotor di Provinsi Jawa Tengah

TINGKAT KECELAKAAN LALU LINTAS

Semakin tingginya jumlah kepemilikan kendaraan bermotor, baik sepeda motor maupun mobil pribadi, maka potensi kejadian kecelakaan lalu lintas juga semakin besar. Nampak dari data kecelakaan lalu lintas di wilayah Jawa Tengah periode tahun 2018 - 2021 menunjukkan tren peningkatan kasus yang cukup signifikan.

Road Safety Manajemen System (IRSMS) Korlantas Polri mencatat sebanyak 79.220 kasus kecelakaan lalu lintas terjadi hingga 5 Agustus 2024. Angka tersebut menunjukkan lonjakan yang mengkhawatirkan dibandingkan dengan periode yang sama pada tahun sebelumnya.

Bulan April menjadi puncak kecelakaan tertinggi mencapai 11.924 kasus, sedangkan bulan Juni dan Juli menunjukkan sedikit penurunan.



Gambar 5 Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas di Provinsi Jawa Tengah

Tingginya angka kecelakaan ini menimbulkan kesan bahwa jalan raya adalah sumber utama masalah. Padahal, faktor yang paling dominan berasal dari meningkatnya jumlah kendaraan. Sejumlah penelitian mencatat bahwa seiring bertambahnya sepeda motor yang beroperasi di jalan raya, risiko kecelakaan pun ikut meningkat.

Pola lalu lintas di Indonesia yang masih bercampur antara sepeda motor dengan kendaraan roda empat atau lebih membuat risiko kecelakaan semakin tinggi. Sepanjang tahun 2024, data dari *Integrated*

Tren fluktuatif ini mencerminkan dinamika lalu lintas yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk peningkatan volume kendaraan hingga pelanggaran aturan lalu lintas.

Dari seluruh kasus, kecelakaan lalu lintas paling banyak terjadi 76,42% melibatkan sepeda motor atau sekitar 552.155 unit. Secara keseluruhan, tercatat 722.470 kendaraan terlibat dalam berbagai insiden sepanjang tahun, mempertegas posisi sepeda motor sebagai kelompok pengguna jalan yang paling rentan.

LAJUR KHUSUS SEPEDA MOTOR

Lalu lintas di jalan raya yang masih bercampur antara kendaraan bermotor roda empat, sepeda motor, kendaraan tak bermotor, serta kendaraan besar dan berat berpotensi tinggi menimbulkan kecelakaan. Perbedaan ukuran dan kecepatan kendaraan sering kali berujung pada tumbukan dan benturan satu sama lain. Di antara beberapa penyebab kecelakaan, kondisi lajur lalu lintas yang bercampur memiliki potensi yang cukup besar.

disampaikan standar konfigurasi badan jalan paling kecil yaitu jalan lingkungan yang memfasilitasi pergerakan sepeda motor.

Lebar 1 lajur jalan kecil untuk kendaraan bermotor roda dua paling sedikit 1,5 meter. Dalam gambar teknis berikut, lebar lajur sepeda motor 1,5 m terdiri dari lebar lajur lalu lintas sepeda motor 1,3 m dan marka pembagi lajur. Jika lahan cukup, dibangun 2 jalur sehingga dapat memfasilitasi pergerakan kendaraan dalam dua arah.

KONFIGURASI BADAN JALAN PALING KECIL PADA JALAN LINGKUNGAN

MELAYANI HANYA KENDARAAN BERMOTOR RODA 2 (SEPEDA MOTOR)

JALAN KECIL LINGKUNGAN YANG MELAYANI HANYA KENDARAAN BERMOTOR RODA 2 (SEPEDA MOTOR), PADA KONDISI LAHAN YANG TERBATAS BAHU JALAN DAPAT DIPAKAI TROTOAR

UKURAN PALING KECIL JALAN SEPEDA MOTOR

UKURAN PALING KECIL JALAN SEPEDA MOTOR



Gambar 6 Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas di Provinsi Jawa Tengah

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 19/PRT/M/2011 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan,

Untuk mengurangi risiko tersebut, beberapa ruas jalan dan jembatan telah dibangun dengan fasilitas lajur khusus sepeda motor.

Pembangunan lajur khusus motor ini disediakan untuk melindungi pengguna sepeda motor dari pergerakan kendaraan bermotor lainnya sehingga memperkecil terjadinya tumbukan atau kecelakaan. Ruas yang telah dilengkapi dengan jalur sepeda motor adalah Jembatan Suramadu dan Jalan Tol Bali Mandara.

Jembatan Suramadu, yang menghubungkan Surabaya dan Madura, memiliki panjang total 5,44 kilometer dengan lebar sekitar 30 meter. Jembatan ini dilengkapi empat lajur dua arah selebar 3,5 meter dan lajur khusus bagi sepeda motor di setiap sisi luar jembatan. Jembatan ini menggunakan konstruksi penyangga beton kotak sepanjang 80 meter tiap bentang dengan 7 bentang tiap sisi yang ditopang fondasi penopang berdiameter 180 cm.



Gambar 7 Jembatan Suramadu

Jalan Tol Bali Mandara menjadi salah satu contoh jalan tol yang dilengkapi dengan lajur khusus sepeda motor. Jalan tol sepanjang 12,7 kilometer menghubungkan Kota Denpasar dan Kabupaten Badung serta mengakses Bandara Ngurah Rai, Benoa, dan Nusa Dua. Mengingat jalan tol ini berada di atas laut, jalan tol ini dilengkapi dengan alat pengukur kecepatan angin berupa *anemometer* berbasis *Internet of Things* (IoT) di setiap gerbang tol (Nusa Dua, Ngurah Rai, dan Benoa).

Ketika kecepatan angin mencapai 40 km/jam atau lebih, jalan tol lajur sepeda motor akan ditutup sementara. Apabila kecepatan angin melebihi 80 km/jam maka jalur mobil juga ditutup.



Gambar 8 Jalan Tol Bali Mandara dengan Lajur Khusus Sepeda Motor

Lajur khusus sepeda motor merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan keselamatan di jalan raya. Jalur terpisah memberi perlindungan lebih bagi pengendara motor yang paling rentan terhadap benturan, sekaligus membuat perjalanan lebih efisien dengan berkurangnya hambatan lalu lintas. Meski membutuhkan biaya konstruksi tambahan karena harus dibangun terpisah dari jalur utama, manfaat yang dihasilkan jauh lebih besar yaitu terciptanya sistem transportasi yang lebih aman, tertib, dan berkelanjutan.



Pemanfaatan Material Tanah untuk Lapis Fondasi Jalan dengan Melakukan Stabilisasi

Oleh: **Silvester Fransisko dan Fitria Gustini**

Balai Bahan dan Perkerasan Jalan

Untuk menghasilkan konstruksi perkerasan jalan yang kuat dan tahan lama tentu membutuhkan material berkualitas. Kualitas material yang digunakan umumnya ditetapkan dalam bentuk standar atau spesifikasi.

Sayangnya, di beberapa daerah tertentu, ketersediaan material yang berkualitas sesuai standar atau spesifikasi sangat terbatas bahkan tidak tersedia. Akibatnya, pembangunan atau pemeliharaan jalan di beberapa daerah tersebut, harus mendatangkan material berkualitas dari daerah lain. Hal ini membuat kebutuhan biaya yang tinggi dan dengan waktu pelaksanaan yang relatif panjang.

Lalu, apa solusinya?, Jawabannya diperlukan upaya pemanfaatan material tanah (material lokal substandar), yaitu material yang tersedia dalam jumlah yang cukup banyak di sekitar lokasi pekerjaan, walaupun masih memiliki sifat material yang tidak memenuhi standar atau spesifikasi yang ditentukan.

Pemanfaatan material tanah tersebut untuk perkerasan jalan dapat diupayakan dengan melakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah sudah banyak diterapkan dan terbukti mampu menunjukkan kinerja yang memadai selama umur pelayanan.

Stabilisasi Tanah

Metode Stabilisasi Tanah

Dalam bidang perkerasan jalan, stabilisasi tanah adalah teknik memperkuat tanah dengan cara mencampurkan dengan bahan tertentu, kemudian dipadatkan dan dirawat (apabila diperlukan). Stabilisasi tanah bertujuan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik kekuatan material tanah sehingga dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan, baik sebagai material lapis tanah dasar, lapis fondasi bahkan material lapis permukaan.

Secara umum, ada dua metode stabilisasi tanah. Pertama, stabilisasi dengan cara mekanis atau stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*). Kedua, stabilisasi dengan menggunakan bahan kimia atau stabilisasi kimia (*chemical stabilization*). Stabilisasi kimia sendiri terbagi dua kelompok berdasarkan jenis bahan kimia. Ada yang menggunakan bahan konvensional seperti semen, kapur, *fly ash*, bitumen, dan kombinasi dua atau lebih dari bahan kimia tersebut. Ada juga yang memakai bahan non-konvensional, meliputi *electrolytes/ionic*, *enzyme*, *lignosulfonate*, *salt/chlorides*, *petroleum resins*, *polymer*, dan *tree resins* yang diproduksi secara komersil.

Bahkan, kombinasi antara bahan konvensional dan non-konvensional juga banyak dipakai dalam praktik.

Pemilihan Jenis Bahan Stabilisasi Tanah

Walaupun berbagai jenis bahan stabilisasi tanah telah tersedia, akan tetapi pemilihan masih harus disesuaikan dengan jenis tanah yang akan distabilisasi. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1, pemilihan jenis bahan stabilisasi tergantung pada kandungan material halus (lolos ayakan 0,075 mm) dan indeks plastisitas (PI) tanah yang akan distabilisasi.

Faktor iklim atau cuaca juga merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan jenis bahan stabilisasi. Untuk daerah basah, tanah dengan kadar air cukup tinggi, maka sangat penting untuk menjamin bahwa kekuatan tanah yang distabilisasi dalam keadaan basah harus masih tetap tinggi. Pada kondisi tersebut, walaupun aspal dan campuran aspal-semen juga dapat digunakan, namun penggunaan semen lebih direkomendasikan.

Kapur juga bisa digunakan untuk tanah-tanah kohesif agar kadar airnya berkurang. Namun, kapur tidak cocok pada tanah jenis lanau, kecuali dipadukan dengan bahan pozolan seperti *fly ash*. Sementara itu, di daerah bercuaca kering-dingin, penggunaan aspal emulsi harus dikombinasikan dengan semen atau kapur. Tujuannya agar air dalam campuran bisa keluar dari aspal emulsi selama proses stabilisasi sekaligus meningkatkan kekuatan material yang dihasilkan.

Dari berbagai jenis bahan stabilisasi tanah yang tersedia, semen merupakan jenis bahan kimia yang paling umum digunakan. Namun, untuk stabilisasi tanah lempung berplastisitas tinggi, jumlah semen yang diperlukan cukup tinggi dan berpotensi menimbulkan retak susut. Karena itu, untuk stabilisasi tanah lempung berplastisitas tinggi, penggunaan semen harus dikombinasikan dengan bahan stabilisasi lainnya, seperti kombinasi semen dengan bahan kimia non-konvensional atau dengan kapur. Kombinasi ini juga telah ditetapkan dalam bentuk spesifikasi, baik spesifikasi umum maupun spesifikasi khusus seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 1. Pemilihan jenis bahan kimia untuk stabilisasi tanah

Jenis Bahan Kimia	> 25% lolos ayakan 0,075 mm			≤ 25% lolos ayakan 0,075 mm		
	PI ≤ 10	10 < PI < 20	PI ≥ 20	PI ≤ 6 (PI x p) ≤ 6	PI ≤ 10	PI > 10
Semen dan campuran bahan bersifat semen	Sesuai	Meragukan	Tidak sesuai	Sesuai	Sesuai	Sesuai
Kapur	Meragukan	Sesuai	Sesuai	Tidak sesuai	Meragukan	Sesuai
Bitumen	Meragukan	Meragukan	Tidak sesuai	Sesuai	Sesuai	Meragukan
Bitumen + semen	Sesuai	Meragukan	Tidak sesuai	Sesuai	Sesuai	Meragukan
Granular	Sesuai	Meragukan	Tidak sesuai	Sesuai	Sesuai	Meragukan
Bahan kimia non konvensional	Tidak sesuai	Meragukan	Sesuai	Tidak sesuai	Meragukan	Sesuai

Keterangan:

PI = Indeks plastisitas

P = Persen lolos ayakan 0,075 mm



Sesuai



Meragukan



Tidak sesuai

Tabel 2. Spesifikasi stabilisasi tanah dengan semen tanpa atau dikombinasikan dengan bahan kimia lainnya

No	Jenis Bahan Stabilisasi Tanah	Peruntukannya dalam Sistem Perkerasan	Judul dan Nomor Seksi Spesifikasi
1	Semen	Lapis fondasi	Spesifikasi Umum Stabilisasi Tanah (Lapis Fondasi Tanah Semen), Seksi 5.4
2	Semen dikombinasikan dengan bahan kimia non konvensional	Lapis fondasi	Spesifikasi Khusus Interim Lapis Fondasi Semen Komposist Tanah, SKh-2.5.4
3	Kapur dikombinasikan dengan semen	Lapis fondasi	Spesifikasi Khusus Interim Lapis Fondasi Tanah Kapur Semen, SKh SKh-1.5.11

Stabilisasi Tanah dengan Semen

Stabilisasi tanah dengan semen dilakukan dengan mencampurkan material tanah dengan semen, kemudian dipadatkan pada kadar air tertentu (pada atau mendekati kadar air optimum) sampai mencapai kepadatan sesuai yang ditentukan. Setelah itu, tanah hasil campuran dirawat, seperti Gambar 1.

Semen sendiri adalah bahan anorganik halus yang memiliki sifat mengikat kuat secara hidrolis bila dicampur dengan air untuk menghasilkan produk yang stabil dan tahan lama. Ketika semen dicampur dengan tanah, reaksi utama semen dengan air dalam tanah membentuk material bersifat semen (*cementitious material*).

Karena reaksi inilah semen dapat digunakan untuk menstabilkan berbagai jenis tanah, kecuali tanah-tanah organik dan mengandung sulfat atau tanah-tanah bersifat asam ($\text{pH} < 6$).

Pada tanah berbutir kasar, pasta semen mengikat partikel tanah akibat adanya gaya adhesi antara gel semen dan permukaan partikel. Sementara pada tanah berbutir halus, fase lempung berkontribusi pada proses stabilisasi melalui reaksi kapur bebas dari semen sehingga dapat mengurangi sifat plastisitas dan pengembangan (*expansion*) tanah, sekaligus meningkatkan kekuatannya.



Gambar 1. Proses pencampuran material tanah dengan semen dan air, pemadatan dan perawatan

Kualitas tanah yang distabilisasi dengan semen biasanya diukur melalui pengujian *unconfined compressive strength* (UCS) setelah material yang distabilisasi tersebut mengeras atau setelah *curing time*. Walaupun pengujian UCS kerap dikritisi karena tidak mencerminkan kondisi sesungguhnya yang akan terjadi di lapangan, metode ini tetap sering digunakan karena praktik dan sangat cocok untuk kontrol rutin dalam jumlah yang banyak. Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 5.4 ditetapkan persyaratan UCS stabilisasi tanah dengan semen untuk lapis fondasi (Lapis Fondasi Tanah Semen) setelah dirawat selama 7 hari harus berada pada kisaran sebesar 20 kg/cm² – 35 kg/cm².

Banyak hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa untuk menghasilkan UCS sesuai spesifikasi, diperlukan jumlah pemakaian semen yang bervariasi. Untuk tanah berbutir kasar dan tanah berplastisitas rendah diperlukan jumlah pemakaian semen yang relatif rendah, sedangkan untuk tanah-tanah berbutir halus, seperti tanah lempung plastisitas tinggi, diperlukan jumlah pemakaian semen yang tinggi. Penggunaan semen yang tinggi dapat menimbulkan retak susut yang tinggi dan berpotensi menimbulkan retak refleksi. Karena itu, Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 5.4 juga menetapkan jumlah pemakaian semen maksimum adalah 8% untuk stabilisasi tanah.

Untuk mengurangi kebutuhan semen, beberapa metode kombinasi mulai digunakan. Misalnya, mencampur semen dengan bahan kimia non-konvensional (aditif), atau menggunakan metode dua tahap dengan kapur dan semen. Cara ini terbukti lebih efisien sekaligus mengurangi risiko kerusakan di kemudian hari.

Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Aditif

Selain menggunakan semen saja, stabilisasi tanah kini juga banyak dilakukan dengan menambahkan aditif, yaitu bahan kimia non-konvensional. Campuran tanah, semen, dan aditif kemudian dipadatkan dan dirawat hingga siap digunakan sebagai lapis fondasi jalan. Dalam Spesifikasi Khusus Interim SKh-2.5.4 lapisan ini disebut Lapis Fondasi Semen Komposit Tanah.

Berbagai jenis aditif tersedia di pasaran, diantaranya adalah aditif berbasis garam anorganik, berupa serbuk halus yang terdiri dari logam dan garam mineral anorganik, berwarna putih dan bersifat larut dalam air.



Gambar 2. Aditif berbasis garam anorganik

Penggunaan aditif berbasis garam anorganik untuk stabilisasi tanah dengan semen bekerja melalui reaksi kimia. Reaksi kimia ini membantu mengurangi bahan-bahan tertentu dalam tanah yang bisa menghambat reaksi antara semen dengan material tanah. Dengan berkurangnya bahan penghambat tersebut, kebutuhan semen tidak lagi terlalu tinggi untuk menghasilkan kekuatan dan ketahanan sesuai standar.

Penggunaan aditif, kandungan bahan-bahan yang menghambat dalam tanah berkurang sehingga kebutuhan semen ikut menurun dan risiko retak akibat pemakaian semen berlebihan bisa diminimalisir. Meski begitu, hasil uji laboratorium sebelumnya menunjukkan bahwa efektivitas penggunaan aditif berbasis garam anorganik yang diukur dari peningkatan UCS masih sangat bervariasi. Untuk material tanah tertentu, penggunaan aditif berbasis garam anorganik cukup efektif, dapat meningkatkan UCS cukup signifikan, namun kurang efektif untuk jenis tanah lainnya.

Karena itu, uji desain campuran di laboratorium sangat penting dilakukan sebelum diaplikasikan di lapangan.

Penggunaan aditif berbasis garam anorganik terbukti mampu meningkatkan kekuatan tanah. Pada material tanah jenis batu kapur di Bojonegoro, misalnya, pencampuran 7% semen dengan tambahan aditif dapat menghasilkan UCS sebesar 27,05 kg/cm² atau meningkat sekitar 15% dibandingkan dengan UCS tanpa aditif.

Untuk pengaplikasian di lapangan, aditif berbasis garam anorganik dilarutkan terlebih dahulu dalam air, selanjutnya ditebarkan/didistribusikan bersamaan atau setelah pencampuran material tanah dengan semen.

Apabila penebaran aditif berbasis garam anorganik dilakukan setelah pencampuran material tanah dengan semen, maka harus dilakukan pencampuran kembali agar aditif berbasis garam anorganik tersebar secara merata dalam campuran tanah dengan semen. Setelah itu, semen dan aditif berbasis garam anorganik, dilakukan pemadatan sampai mencapai kepadatan yang ditentukan dan dirawat selama 7 hari.

Dalam pekerjaan percobaan lapangan (*field trial*) di Bojonegoro, pencampuran material baru kapur dengan 7% semen dan tambahan 2% aditif berbasis garam anorganik menghasilkan UCS sebesar 30,35 kg/cm² pada kondisi kepadatan kering.



Gambar 3. Pelarutan aditif berbasis garam anorganik dalam air dan penguangannya ke dalam truk tangki air



Gambar 4. Proses pencampuran material tanah, semen dan air yang telah mengandung aditif berbasis garam anorganik

Stabilisasi Tanah dengan Kapur dan Semen

Telah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 1, tanah lempung plastisitas tinggi ($PI \geq 20$) tidak cocok distabilisasi dengan semen karena membutuhkan jumlah pemakaian semen yang tinggi. Untuk jenis tanah ini, kapur menjadi pilihan yang tepat. Dua jenis kapur yang umum digunakan adalah kapur kembang (kalsium oksida, CaO) dan kapur padam (kalsium hidroksida, $Ca(OH)_2$). Ketika kapur dicampur dengan tanah lempung plastisitas tinggi, adanya air memicu beberapa reaksi kimia mulai dari pertukaran kation, flokulasi-aglomerasi, reaksi *pozzolanic*, dan karbonasi.

Pertukaran kation dan flokulasi-aglomerasi adalah reaksi primer, yang berlangsung segera setelah pencampuran. Selama reaksi ini, kation monovalen dari mineral lempung digantikan oleh ion divalen kalsium. Reaksi ini menghasilkan penurunan indeks plastisitas, peningkatan *workability* dan kekuatan.

Selanjutnya, reaksi *pozzolanic* terjadi antara kapur dengan silika dan alumina dari mineral lempung menghasilkan material yang bersifat semen berupa kalsium silikat-hidrat dan kalsium alumina-hidrat.

Reaksi *pozzolanic* yang terjadi bergantung pada waktu dan temperatur serta dapat terus berlangsung untuk jangka waktu yang panjang. Dengan demikian, stabilisasi tanah lempung plastisitas tinggi dengan kapur mempunyai dua tujuan, yaitu untuk memodifikasi dan untuk meningkatkan kekuatan tanah lempung tersebut.

Peningkatan *workability* tanah lempung merupakan hasil modifikasi langsung, yang merupakan kontributor utama dalam tahap awal konstruksi. Meningkatkan kekuatan dan daya tahan dianggap stabilisasi jangka panjang, terjadi selama dan setelah melalui proses perawatan.

Karena reaksi *pozzolanic* ini sangat tergantung pada waktu dan temperatur, peningkatan kekuatan biasanya berlangsung lambat maka semen biasanya ditambahkan ke dalam material tanah yang telah dimodifikasi dengan kapur untuk meningkatkan laju peningkatan kekuatan.

Jadi, stabilisasi tanah dengan kapur dan semen adalah pencampuran tanah dengan kapur dan semen, dipadatkan dan dirawat. Metode ini disebut stabilisasi dua tahap, karena prosesnya diawali dengan kapur lalu dilanjutkan dengan semen. Adapun tahapan yang dilakukan:

a) Tahap 1 - stabilisasi dengan kapur, digunakan untuk mengurangi sifat plastisitas tanah lempung dan meningkatkan *workability*. Untuk stabilisasi dengan kapur, tanah lempung dicampur dengan kapur dan air sesuai yang diperlukan, dipadatkan secukupnya dengan 1 – 2 lintasan alat pemadat (lihat Gambar 5) dan dirawat (*mellow time*) selama 1 – 3 hari.



Gambar 5. Stabilisasi tanah tahap 1 dengan kapur

b) Tahap 2 - stabilisasi dengan semen, digunakan untuk meningkatkan kekuatan. Tanah lempung yang telah dicampur dengan kapur dan telah melalui proses *mellow time* dicampur kembali dengan semen dan air (apabila diperlukan), dipadatkan sampai mencapai kepadatan lapangan sesuai yang ditentukan (lihat Gambar 6) dan selanjutnya dirawat selama 7 hari.



Gambar 6. Stabilisasi tanah tahap 2 dengan semen

Stabilisasi tanah dengan kapur dan semen telah diterapkan di Trans Papua Kabupaten Merauke (ruas Merauke – Tanah Merah). Dalam penerapan tersebut, digunakan material tanah lempung dari dua lokasi di sekitarnya, yaitu dari KM. 138 dan KM. 171, masing-masing dengan nilai indeks plastisitas 34 dan 30, distabilisasi menggunakan 6% kapur.

Hasilnya, nilai plastisitas turun menjadi 19 dan 17 setelah melalui proses *mellow time* selama dua hari.

Untuk tanah dari KM. 171, nilai UCS sebesar 16,55 kg/cm² setelah melalui proses perawatan tujuh hari. Selanjutnya, penambahan semen sebesar 8% pada kedua material tanah lempung yang telah distabilisasi dengan 6% kapur menghasilkan UCS sekitar 20,50 kg/cm² – 25,70 kg/cm² setelah tujuh hari, sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam Spesifikasi Khusus Interim Lapis Fondasi Tanah Kapur Semen, SKh-2.5.11.

Penutup

Stabilisasi tanah menjadi solusi penting dalam memanfaatkan material lokal yang sering dianggap substandar untuk perkerasan jalan, khususnya pada lapisan fondasi. Selama ini, metode yang paling banyak digunakan adalah stabilisasi dengan semen. Namun, untuk tanah berbutir halus atau lempung plastisitas tinggi, kebutuhan semen yang tinggi justru berisiko menimbulkan retak susut dan retak refleksi.

Untuk mengatasi hal, ini tersedia dua alternatif yang lebih efektif yakni stabilisasi dengan semen dan aditif, serta stabilisasi dua tahap dengan kapur dan semen. Penggunaan aditif membantu meningkatkan kekuatan tanah hasil stabilisasi dengan semen, sementara kombinasi kapur dan semen memungkinkan plastisitas tanah lempung berkurang sehingga lebih mudah dikerjakan sekaligus tetap memiliki kekuatan yang memadai.

Penerapan metode yang tepat, pemanfaatan tanah lokal yang kurang layak dapat diubah menjadi fondasi jalan yang kuat, efisien, dan berdaya tahan lebih lama.





Mengentas Bahaya Perlintasan Sebidang Jalan Nasional dengan Jalur Kereta Api

Oleh:

Hussein Heykal dan Ilham Pramadhitya Firdaus

Direktorat Sistem dan Strategi Penyelenggaraan Jalan dan Jembatan

Dengan panjang jalan lebih dari 530 ribu km dan rel aktif sekitar 7.451 Km, keduanya menjadi tulang punggung pergerakan orang dan barang di Indonesia. Namun, ketika dua moda transportasi ini bertemu di balik palang pintu, lahirlah wajah perlintasan sebidang, ruang penting bagi konektivitas, tetapi juga menyimpan potensi risiko keselamatan.

Jalan Raya dan Rel Kereta

Jalan Raya dan Kereta api menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan masyarakat Indonesia. Sebagai salah satu moda transportasi paling mendasar bagi hampir seluruh masyarakat di hampir seluruh negara, jalan raya berperan penting dalam menghubungkan antarwilayah, sekaligus menjadi jalur utama distribusi logistik yang mendukung pertumbuhan ekonomi. Saat ini, panjang jalan di Indonesia mencapai lebih dari 530.000 km, dan sekitar 50.603 km diantaranya berstatus Jalan Nasional.

Di sisi lain, Transportasi kereta memegang peranan penting dalam mendukung sistem transportasi di Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Perhubungan, hingga 2024 panjang rel aktif di Indonesia diperkirakan

mencapai sekitar 7.451 km yang tersebar di Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Moda ini masih didominasi perjalanan di Pulau Jawa, dengan jumlah penumpang mencapai sekitar 858,5 juta orang per tahun, yang terdiri dari 432,4 juta orang per tahun (50,4%) perjalanan antar provinsi dan sisanya sebesar 426,1 juta orang per tahun (49,6%) perjalanan internal.

Untuk perjalanan barang, masih terkonsentrasi di Pulau Jawa dan Sumatera dengan total 937 juta ton per tahun. Pada Pulau Sumatera, kereta api lebih banyak dimanfaatkan untuk angkutan barang, sementara di Jawa, perannya lebih besar dalam angkutan penumpang.



Sumber: Antara News (2025)

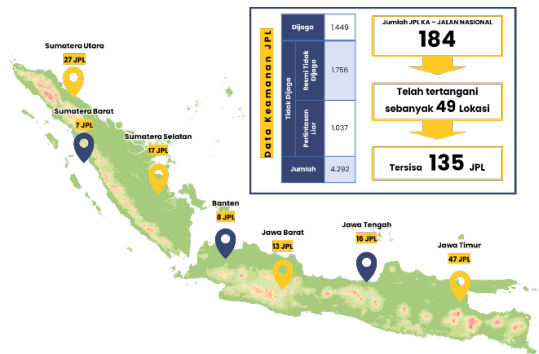
Perlintasan Sebidang: Ketika Dua Moda Bertemu di Satu Titik

Dalam dinamika sistem transportasi Indonesia, pertemuan antara jalan raya dan rel kereta api bukan sekadar perpotongan fisik. Di balik palang pintu dan rambu peringatan, tersimpan persoalan mendasar tentang keselamatan, efisiensi, dan tata kelola infrastruktur lintas moda. Perlintasan sebidang titik di mana kendaraan jalan raya dan kereta api berbagi ruang di bidang datar yang sama menjadi salah satu titik paling krusial.

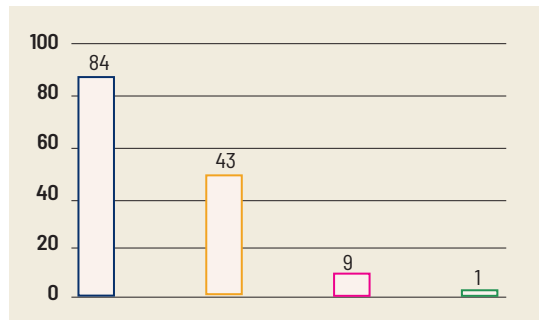
Seiring meningkatnya lalu lintas kereta dan laju urbanisasi, perlintasan sebidang sering kali menjadi ruang benturan dua sistem berbeda, yakni kereta yang tidak dapat berhenti mendadak serta kendaraan jalan raya yang memiliki fleksibilitas dan cepat. Saat keduanya berbagi ruang tanpa batas aman, risiko pun meningkat.

Data Direktorat Keselamatan dan Keamanan PT. Kereta Api Indonesia (KAI) mencatat, ada 3.693 perlintasan sebidang di Indonesia. Dari jumlah itu, 1.598 adalah perlintasan yang dijaga oleh petugas jaga lintasan yang resmi dari KAI, tim operasional, Dinas Perhubungan serta masyarakat, Sementara sisanya, 2.095 adalah perlintasan yang tidak dijaga. Sedangkan untuk perlintasan yang tidak dijaga terdiri dari 1.132 lokasi berstatus resmi tapi tidak dijaga, dan 963 berstatus liar/ilegal tidak dijaga.

Kondisi ini juga terlihat di jalur nasional. Dari 13 divisi regional dan/atau daerah operasi, terdapat 185 Jalur Perlintasan Kereta Api (JPL) dengan jalan nasional di Pulau Sumatera dan Pulau Jawa, sebanyak 135 JPL masih belum tertangani. Angka ini menunjukkan betapa seriusnya tantangan keselamatan di perlintasan sebidang.

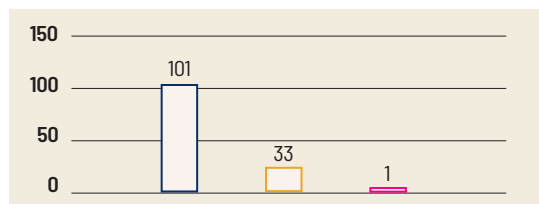


Sebaran JPL dengan Jalan Nasional
Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)



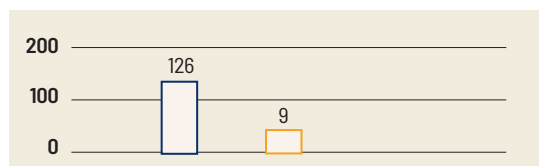
Legend: Single Track (Blue), Double Track (Orange), Triple Track (Pink), Double Double Track (Green)

Jumlah Track Jalur Kereta pada Lokasi JPL
Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)



Legend: 2/2 (Blue), 4/2 (Orange), 6/2 (Pink)

Tipikal Penampang Ruas Jalan Nasional pada Lokasi JPL
Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)



Status Penanganan pada Lokasi JPL
Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)

Legend: Dijaga (Blue), Tidak Dijaga (Orange)

Refleksi dalam Persimpangan Sebidang Kereta Api dengan Jalan

Peningkatan keselamatan di perlintasan kereta api menjadi tugas dan pekerjaan rumah bersama baik dari sisi pemerintah, swasta maupun masyarakat. Meningkatkan kesadaran masyarakat akan bahayanya menerobos palang pintu kereta menjadi tujuan utama dari program preventif/ pencegahan yang dilakukan oleh Pemerintah. Sosialisasi dan kampanye keselamatan selalu dilakukan secara kontinu agar masyarakat menjadi lebih peduli dengan keselamatan berkendara.

Lebih jelasnya, penanganan Jalur Kereta Api dengan Jalan diatur dalam UU Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan serta UU Nomor 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian. Keduanya menegaskan bahwa perlintasan sebidang antara Jalur KA dengan Jalan harus dibuat tidak sebidang. Namun, jika kondisi tidak memungkinkan, maka lokasi perlintasan harus dilengkapi instrumen keselamatan yang lebih lengkap di lokasi perlintasan.

Data Subdit Rekayasa dan Peningkatan Keselamatan DJKA Kementerian Perhubungan mencatat, sepanjang 2015 – 2019 rata-rata terjadi 276 kecelakaan kejadian per tahun atau 23 kejadian per bulan. Bahkan, menurut catatan PT. Kereta Api Indonesia (KAI), sepanjang 2018-2023 terdapat 1.860 kejadian kecelakaan di perlintasan sebidang. Dari jumlah itu, 1.605 kasus terjadi di perlintasan sebidang yang tidak dijaga, sementara 255 lainnya terjadi di perlintasan sebidang yang dijaga. Hal ini menjadi perhatian banyak pihak mengingat hampir 30% dari kejadian kecelakaan pada perlintasan tersebut berakibat pada korban jiwa.

Konsep Penanganan Mewujudkan Perlintasan Kereta Api yang Berkeselamatan

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) memiliki kewenangan dalam pembangunan dan pengelolaan jalan nasional di seluruh Indonesia, termasuk perlintasan sebidang jalur kereta api dengan Jalan Nasional. Sampai dengan tahun 2024 terdapat 185 titik perlintasan antara Jalur Kereta Api dengan Jalan Nasional. Berdasarkan jumlah itu, 49 di antaranya telah ditangani oleh Kementerian PUPR melalui BPJN dan masih menyisakan 135 lokasi perlintasan yang masih akan ditangani.

Lokasi perlintasan sebidang tersebut tersebar di tujuh provinsi yakni Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Setiap lokasi akan ditinjau secara menyeluruh, mulai dari kondisi ruas jalan, frekuensi lintasan kereta, jumlah penutupan palang pintu perlintasan kereta api, durasi penutupan palang pintu perlintasan, jumlah kendaraan tertahan serta dampak penutupan palang terhadap panjang antrian.

Untuk memastikan penanganan perlintasan sebidang berjalan sesuai kebutuhan dan prioritas, maka disusunlah satu rencana umum penanganan perlintasan sebidang jalur kereta api dengan Jalan Nasional. Rencana ini menjadi acuan bagi pengambil kebijakan untuk dapat mengambil keputusan paling efektif dan efisien terkait dengan penanganan perlintasan sebidang Jalur KA pada ruas Jalan Nasional. Meski begitu, keterbatasan anggaran serta kemampuan BPJN dalam pelaksanaan kegiatan konstruksi akan menjadi tantangan. Kondisi inilah yang membuat penentuan *timeline* pekerjaan di setiap tahapan harus disesuaikan dengan kemampuan yang ada.

Kereta Api yang Berkeselamatan

Penanganan perlintasan sebidang jalur kereta api dengan Jalan Nasional pada dasarnya merujuk pada UU Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Angkutan Jalan (LLAJ) Pasal 114, yang menyatakan bahwa pada perlintasan sebidang antara jalur kereta api dan jalan, pengemudi kendaraan wajib berhenti ketika sinyal sudah berbunyi dan palang pintu kereta api sudah mulai ditutup, serta wajib mendahulukan kereta api. Untuk meningkatkan keselamatan, setiap perlintasan sebidang dilengkapi dengan sejumlah instrumen pengaman, mulai dari pintu perlintasan; rambu lalu lintas; marka jalan; isyarat lampu; isyarat suara; dan penjagaan di lokasi.

Penentuan prioritas penanganan perlintasan sebidang jalur kereta api dan Jalan Nasional dilakukan dengan mempertimbangkan dua aspek yaitu aspek teknis dan non-teknis. Aspek teknis yang meliputi VCR, frekuensi lintasan kereta, panjang lintasan, dan panjang penanganan (meter).

Sementara aspek non teknis yang meliputi *readiness criteria* dan aspek keselamatan jalan. Proses prioritas penanganan dapat dilihat pada *chart flow* sebagai berikut,

Dalam menentukan prioritas penanganan jalur perlintasan kereta api (JPL), ada sejumlah kriteria yang menjadi acuan. Pertama, **kinerja ruas jalan** yang dilihat dari nilai VCR, yakni indikator kemampuan jalan menampung arus lalu lintas. Semakin tinggi nilainya, semakin mendesak pula penanganan JPL.

Kedua, **frekuensi lintasan kereta** yang ditandai dengan seringnya palang pintu ditutup. Kondisi ini kerap menimbulkan gangguan lalu lintas, sehingga semakin tinggi frekuensi penutupan lintasan, semakin sering pula dilakukan penanganan.

Ketiga, **panjang antrean**, berimbas pada kerugian pengguna jalan, baik dari sisi waktu perjalanan maupun biaya operasional kendaraan (BOK). Semakin panjang antrean, semakin mendesak JPL dilakukan penanganan. Keempat, **tingkat kesulitan konstruksi**, semakin panjang penanganan JPL maka tingkat kesulitan dan potensi durasi penanganan semakin lama, terutama di wilayah perkotaan yang padat.

Selain aspek teknis tersebut, ada pula kriteria non-teknis, yakni **readiness criteria**. Kriteria tersebut merujuk pada ketersediaan *stock design* (faktor penting dalam tahapan perencanaan konstruksi).

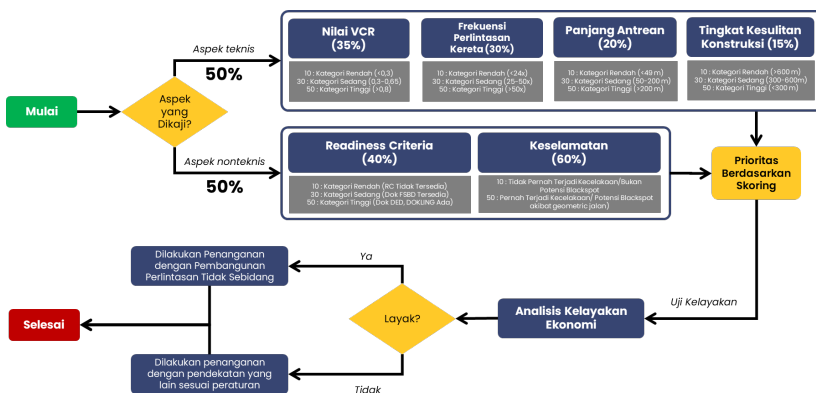


Chart Flow Process Prioritas Penanganan JPL dengan Jalan Nasional

Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)

Beberapa dokumen telah disiapkan baik oleh BPJN, BTP, KAI, maupun ESP akan menjadi *point* penting dalam penentuan prioritas penanganan. Terakhir, **kejadian kecelakaan/blackspot**. Riwayat terjadinya kecelakaan dapat memberikan informasi bahwa JPL merupakan lokasi yang sangat rawan kecelakaan hingga menyebabkan korban meninggal dunia. Selain itu geometrik JPL yang rawan/terindikasi *blackspot* terjadinya kecelakaan di jalan raya, maka akan menjadi *point* utama dalam prioritas penanganan

Proses prioritas penanganan selanjutnya akan disandingkan dengan analisis kelayakan ekonomi dan finansial yang dilakukan. Pada dasarnya proses analisis kelayakan ekonomi ini dilakukan untuk menghitung kelayakan pembangunan Simpang Tak Sebidang (STS) dengan membandingkan antara jumlah biaya (*cost*) terhadap manfaat (*benefit*) berupa Biaya Operasi Kendaraan dan Nilai Waktu yang ditimbulkan sepanjang masa perencanaan (*time horizon*) selama 25 tahun.

Hasil Prioritas Perlintasan Tak Sebidang

Rekapitulasi hasil prioritas perlintasan tak sebidang menunjukkan bahwa penanganan perlintasan sebidang tetap harus sesuai dengan amanat undang-undang. Upaya ini penting untuk mendukung terwujudnya jalan yang berkeselamatan, dengan meningkatkan perlintasan sebidang jalur KA dengan jalan menjadi perlintasan tidak sebidang maka penanganan perlintasan ini pun juga harus tetap dilakukan meskipun secara ekonomi tidak memenuhi indikator kelayakan.

SUMATERA UTARA	4	5	18
SUMATERA BARAT	1	2	4
SUMATERA SELATAN	2	2	13
BANTEN	6	0	2
JAWA BARAT	9	2	2
JAWA TENGAH	6	6	4
JAWA TIMUR	10	25	12

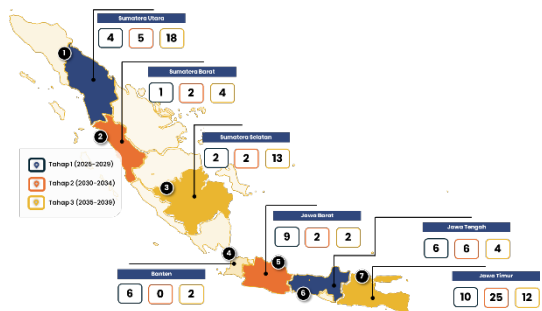
Rekap Prioritas

Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)



Ilustrasi Perlintasan Tidak Sebidang yang diusulkan

Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)



Ilustrasi Rekap Prioritas Penanganan

Sumber: Dokumentasi Dit. SSPJJ (2025)

Skema Pembiayaan yang Dapat Dikembangkan

Penyiapan penanganan perlintasan sebidang jalur kereta api (JPL) secara umum akan melalui empat tahap dimulai dari penyiapan *readiness document* hingga pada tahap akhir yaitu *open traffic*. Berikut merupakan tabel tahapan penyiapan proyek penanganan JPL dengan jalan nasional.

Readiness Document
Penyiapan dokumen perencanaan oleh B/BPJT berupa dokumen DED, dokumen lingkungan, dan dokumen pengadaan tanah
Land Acquisition
Pelaksanaan pembebasan lahan per tahapan dengan perkiraan durasi selama satu hingga satu setengah tahun
Construction
Pelaksanaan konstruksi STS dengan perkiraan durasi per tahapan yaitu satu hingga satu setengah tahun
Open Traffic
Proyek konstruksi selesai, dan <i>Flyover</i> sudah dapat melayani lalu lintas yang ada.

Penanganan 136 JPL dengan jalan nasional tentunya **membutuhkan alternatif skema pembiayaan yang efektif dan efisien**. Walaupun penanganan JPL menjadi salah satu tanggung jawab pemerintah, skema pembiayaan tidak hanya mengandalkan APBN, melainkan dapat menggunakan alternatif skema pembiayaan yang antara lain: Rencana Pembangunan Menengah (RPM), pinjaman dalam negeri, pinjaman luar negeri, dan penerbitan obligasi seperti SBSN/SUN/Obligasi,

dan kerja sama antara Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) yakni penyediaan infrastruktur untuk kepentingan umum dengan memperhatikan pembagian risiko diantara para pihak.

Lesson Learned: Catatan dari Perlintasan Sebidang

Pembangunan *flyover* untuk menangani kasus perlintasan sebidang jalan nasional dengan kereta api tentunya telah dilakukan selama beberapa tahun ke belakang. Sejumlah proyek telah rampung, di antaranya:

- *Flyover* Kesambi (2017 – 446,5 meter)
- *Flyover* Klonengan (2017 – 760 meter)
- *Flyover* Kretek (2017 – 788,5 meter)
- *Flyover* Dermoleng (2017 – 617,5 meter)
- *Flyover* Karangasawah (2018 – 850 meter)
- *Flyover* Patih Galung (2022 – 882,5 meter)
- *Flyover* Bantaian (2024 – 550 meter)

Pembangunan *flyover* tersebut memberikan dampak nyata dalam penurunan risiko kecelakaan di perlintasan kereta api sekaligus mempersingkat waktu tempuh di kawasan sekitarnya.

Belajar dari *flyover* Bantaian (Sumatera Selatan), ada beberapa hal yang dapat dicatat. Pertama, *flyover* tersebut memperlancar dan memperkuat sistem logistik nasional serta program hilirisasi. Kawasan tersebut menjadi salah satu ruas dan jalur distribusi komoditas batu bara menggunakan kereta api yang menjadi Program Strategis Nasional (PSN) di masa Pemerintahan Presiden RI ke-7, Joko Widodo.

Sebelumnya, kereta api batu bara memberikan *dwelling time* kendaraan cukup panjang saat melintas. Dengan kehadiran *flyover*, tidak hanya keselamatan berkendara yang meningkat, namun juga mengefisiensikan waktu tempuh dengan mengurangi *dwelling time* dengan signifikan

Kedua, pembangunan *flyover* ini juga menggunakan skenario pendanaan alternatif yaitu melalui SBSN dengan alokasi dana sebesar Rp62,63 miliar. Hal ini menunjukkan bahwa pembangunan *flyover* di perlintasan sebidang kereta api dapat memanfaatkan skenario pendanaan di luar skema konvensional (APBN Murni).

Penutup

Pembangunan *flyover* di perlintasan sebidang kereta api dengan jalan nasional membawa setidaknya tiga dampak positif kepada masyarakat. Pertama, **mengurangi kemacetan** karena hambatan di perlintasan kereta bisa dihilangkan sehingga arus lalu lintas lebih lancar. Kedua, **meningkatkan keamanan** dengan adanya *flyover*, risiko kecelakaan dapat diminimalisir. Ketiga, **meningkatkan konektivitas** antarwilayah sehingga akses masyarakat lebih mudah dan pertumbuhan ekonomi terdukung.

Penanganan perlintasan sebidang jalur kereta api dengan jalan nasional masih tersebar di tujuh provinsi dengan total 135 lokasi. Proyek ini membutuhkan dana hingga Rp19,52 triliun, sehingga diperlukan strategi pendanaan kreatif yang disertai pelaksanaan dan pengawasan yang matang.

Mengubah perlintasan sebidang menjadi tidak sebidang bukan sekadar proyek infrastruktur, tetapi langkah penting untuk meningkatkan keselamatan, memperlancar ekonomi, dan menata ulang mobilitas Indonesia. Karena itu, komitmen bersama tidak hanya dibutuhkan dari Kementerian PUPR dan PT KAI, melainkan juga dari semua pihak terkait.

LAPORAN PROYEK

Jembatan Pandansimo: Simbol Konektivitas dan Kearifan Lokal di Selatan Yogyakarta

Oleh: Risma Hermawati

Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan



61

Gambar 1. Jembatan Pandansimo

Sumber : Dokumentasi PPK 1.4 Provinsi D.I. Yogyakarta

Di kawasan pesisir selatan Yogyakarta, terbentang sebuah struktur infrastruktur jembatan megah yang tidak hanya sekadar menghubungkan dua titik geografis namun juga menjadi lambang transformasi sosial, ekonomi, dan budaya bagi masyarakat sekitarnya. Dalam geliat pembangunan yang berpadu dengan nilai-nilai lokal, Jembatan Pandansimo berdiri sebagai bukti nyata bahwa kemajuan teknologi dan kearifan tradisi dapat berjalan beriringan. Jembatan Pandansimo, yang membentang megah di atas Sungai Progo, kini hadir menjadi ikon baru infrastruktur di Daerah

Istimewa Yogyakarta. Dengan panjang total sekitar 2.300 meter yang terdiri dari *main bridge* sepanjang 675 meter dan jalan pendekat di kedua sisinya. Jembatan Pandansimo berada di Desa Poncosari yang menghubungkan kawasan ruas Congcot – Ngremang (Kabupaten Kulonprogo) dan Pandasimo – Samas (Kabupaten Bantul), sekaligus menjadi penghubung Kapanewon, Srandakan, Kabupaten Bantul di sisi timur dan Kapanewon Galur, Kabupaten Kulonprogo di sisi barat.



Gambar 2. Pembangunan Jembatan Pandansimo

Sumber : Dokumentasi PPK 1.4 Provinsi D.I. Yogyakarta

Jembatan Pandansimo menjadi bagian dari Jalur Jalan Lintas Selatan (JJLS), proyek strategis ini masuk dalam paket kegiatan Inpres Jalan Daerah Tahap I. Kehadirannya di Bantul, Yogyakarta, tak hanya memperkuat Jalur Lintas Selatan (Pansela) sebagai jalur vital penghubung antarsegmen ruas jalan JJLS dari Banten hingga Banyuwangi, tetapi juga meneguhkan JJLS sebagai urat nadi baru bagi mobilitas, logistik, dan pertumbuhan ekonomi regional.

Selain mempermudah arus barang dan mendukung pelayanan publik, jembatan ini diharapkan dapat menyambungkan sentra – sentra produksi serta menyingkap peluang keelokan potensi pariwisata yang berada di kawasan Kabupaten Bantul dan Kulon Progo.

Jembatan ini menghubungkan sejumlah kawasan wisata pesisir yang eksotis di wilayah selatan Yogyakarta, mulai dari Muara Pandansimo di Kecamatan Srandakan hingga Pantai Pandansimo, Pantai Baru, serta jalur menuju Kawasan Kulon Progo seperti Pantai Congot dan Hutan Mangrove Jangkar.

Pembangunan Jembatan Pandansimo dibiayai sepenuhnya dari dana rupiah murni yang termasuk dalam implementasi dari Instruksi Presiden Nomor 3 Tahun 2023. Satker Pelaksanaan Jalan Nasional (PJN) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) bertanggung jawab atas pelaksanaan proyek pembangunan Jembatan Pandansimo di bawah koordinasi Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) Jawa Tengah - DIY.

Proyek ini memiliki nilai kontrak sebesar Rp. 814 miliar, dengan waktu pelaksanaan 408 hari dan masa pemeliharaan 365 hari. Kontrak tersebut tertuang pada dokumen kontrak dengan nomor kontrak paket pekerjaan HK 0201-Bb7.10.2/876. Pelaksanaan teknis proyek pembangunan Jembatan Pandansimo berada di bawah pengawasan BBPJN Jawa Tengah – DIY dengan kontraktor pelaksana PT. Adhi Karya (Persero) Tbk bersama PT. Sumber Wijaya Sakti melalui Kerja Sama Operasi (KSO).

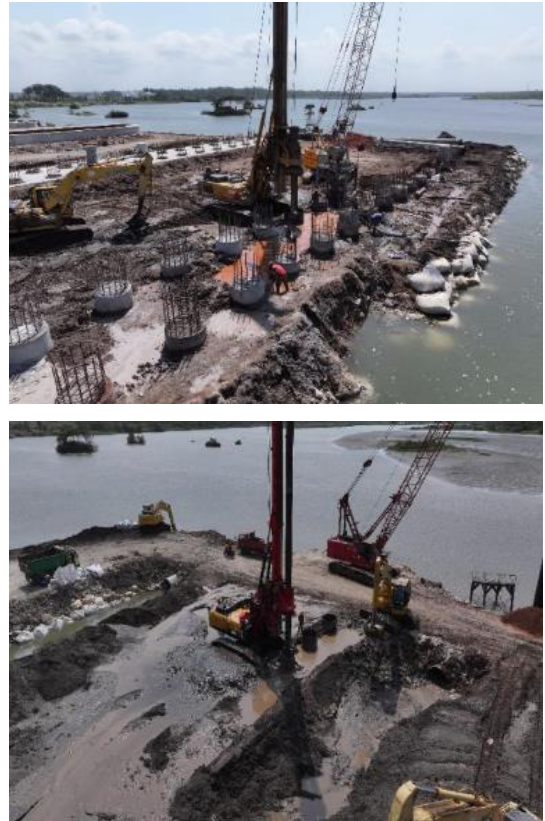
Proyek ini dikenal dengan Program Inpres Jalan Daerah (IJD) Tahap 1 yang telah dimulai pada tahun 2023. Sebagai bagian dari JJLS, pembangunan Jembatan Pandansimo tidak hanya penting secara ekonomi, tetapi juga dirancang dengan pertimbangan geoteknis dan sosial yang matang. Jembatan ini berdiri di atas tanah berpasir dan berada dekat dengan pusat gempa Sesar Opak, patahan aktif yang membentang sekitar 45 kilometer di wilayah Yogyakarta.

Kondisi tersebut membuat wilayah ini rawan guncangan gempa dan berisiko mengalami likuifaksi karena kondisi muka air tanah yang dangkal, ditambah jaraknya kurang dari 10 kilometer dari pusat gempa.

Untuk mengantisipasi potensi rawan tersebut, digunakan teknologi konstruksi modern sebagai fondasi dalam berupa tiang *bored pile* (tiang bor beton), teknologi LRB (*lead rubber bearing*) untuk meredam getaran gempa, dan MSE Wall (*Mechanically Stabilized Earth Wall*) yang memungkinkan pembangunan struktur penahan yang fleksibel, cepat, dan tahan terhadap pergerakan tanah serta tekanan lateral.

Teknologi LRB dipasang untuk melindungi Jembatan Pandansimo dari guncangan gempa. LRB berfungsi untuk menyerap dan mereduksi energi gempa, sehingga struktur utama jembatan tidak mengalami kerusakan parah. Karena bersifat elastis,

LRB memungkinkan untuk bergerak atau bergeser jika terjadi gempa kemudian dapat kembali ke posisi semula saat gempa berakhir. Kemampuan beradaptasi ini dapat mencegah terjadinya kerusakan serius pada jembatan.



Gambar 3. Perkerjaan Bored Pile



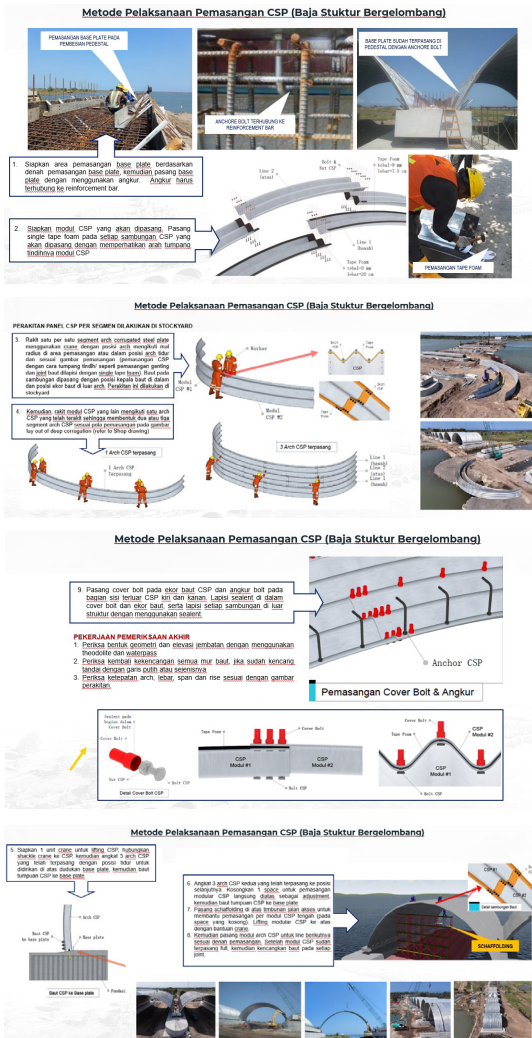
Gambar 4. Metode Pemasangan *Lead Rubber Bearing (LRB)*

Selain perlindungan gempa, kekuatan Jembatan Pandansimo juga ditopang teknologi *Corrugated Steel Plate (CSP)* atau baja struktur bergelombang, yang baru pertama diterapkan di Indonesia. CSP pada struktur bangunan atas jembatan dipilih karena ringan namun kuat, sekaligus mempercepat pemasangan sehingga relatif lebih efektif dan efisien dari sisi biaya dan waktu.

Penggunaan CSP pada bentang tengah jembatan dikombinasikan dengan mortar busa, yaitu dua jenis mortar busa *uniaxial compressive strength (UCS)* 800 kPA dan 2.000 kPA. Kombinasi ini membuat struktur tetap ringan, kokoh, sekaligus mempercepat pemasangan di lapangan.



Gambar 5. CSP dan LRB



Gambar 6. Metode Pemasangan Corrugated Steel Plate (CSP)

Teknologi lainnya yang digunakan adalah MSE wall. Teknologi ini digunakan pada kondisi luasan area pada jalan pendekat cenderung terbatas. MSE wall memungkinkan tanah ditahan secara vertikal atau dengan kemiringan tertentu, sehingga penggunaan lahan bisa optimal. Dengan menahan tanah secara vertikal, MSE wall meminimalkan penggunaan lahan yang biasanya diperlukan oleh lereng tanah yang miring.

MSE wall merupakan dinding penahan tanah yang menggunakan perkuatan internal secara berlapis dengan mekanisme friksi antara tanah dengan material perkuatan. MSE wall menjadi pilihan alternatif dinding penahan tanah yang lebih murah, praktis dan secara teknis lebih mudah dikerjakan dibandingkan dengan dinding penahan tanah dengan tipe beton.



Gambar 7. Pemasangan MSE Wall

Selain teknologi MSE Wall, tim proyek juga menghadapi tantangan waktu pengerjaan karena hampir semua pekerjaan dilakukan dengan metode cor di tempat. Untuk mengatasinya, tim membangun *batching plant* di lokasi proyek. Di sisi lain, teknologi mortar busa diterapkan agar struktur atas lebih ringan sekaligus menekan biaya konstruksi. Total volume mortar busa yang digunakan mencapai sekitar 80.000 meter kubik. Karena jumlahnya besar, metode langsung cor dengan sistem gravitasi tidak bisa diimplementasikan. Sebagai gantinya menggunakan metode baru yaitu sistem pompa peristaltik yang bisa memompa hingga jarak 300 meter.

Pembangunan Jembatan Pandansimo tidak hanya menonjolkan kekuatan teknis, tetapi juga dipercantik dengan pemasangan ornamen yang mengusung kearifan budaya lokal. Jembatan Pandansimo mencerminkan perpaduan antara inovasi teknik dan kearifan lokal menjadikannya bukan hanya sekedar penghubung fisik tetapi juga simbol kemajuan yang berakar pada budaya. Ornamen ikonik yang menghiasi jembatan antara lain gunung yang dipadukan dengan motif sulur

keris dan batik nitik, serta gapura bergaya joglo di titik masuk dan keluar jembatan yang berfungsi sebagai peneduh bagi pengguna jalan.

Desain ini melambangkan gerbang penanda mandala terciptanya ruang budaya, berindang hijau tanpa terpisah batasan sosial yang menjadi titik temu Kulon Progo dan Bantul. Di bagian tengah, gunung bermotif batik Yogyakarta menjadi simbol awal dan akhir dalam pewayangan, dibalut warna terracotta yang terinspirasi dari makam raja-raja di Imogiri. Kehadiran ornamen ini dapat mewujudkan falsafah Jawa “*memayu hayuning bawana*” yaitu membawa keselamatan, kedamaian, kebahagiaan dan kesejahteraan lahir dan batin agar berdampak sosial dan lingkungan sekitarnya. Gubernur DIY Sri Sultan Hamengkubuwana X, berharap pembangunan Jembatan Pandansimo menjadi jalur pembuka kesejahteraan bagi masyarakat Bantul dan Kulon Progo, sejalan dengan semangat Progotamansari dan Binangun. Selain mempercepat konektivitas dari Banten hingga Jawa Timur, Jembatan Pandansimo bukti wujud nyata harmonisasi antara teknik modern dengan estetika tradisional yang menjadi ikon baru Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 8. Jembatan Pandansimo

Sumber: Dokumentasi PPK 1.4 Provinsi D.I. Yogyakarta



Orang yang Paling Hebat
adalah orang yang terus belajar,
bahkan dari hal-hal kecil

-B.J. Habibie-

ARTIKEL TOKOH

Kisah Vito Borkat Harahap Pegawai Muda Visioner di Balik Inovasi Infrastruktur Digital

Oleh: Ani Mulyani,

Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

Vito: Muda, Visioner, dan Teladan di Balik Transformasi Infrastruktur Digital

Di tengah arus perubahan birokrasi dan tuntutan pelayanan publik yang kian modern, muncul sosok muda yang tak hanya berdedikasi, tetapi juga menjadi motor inovasi di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Dialah Vito Borkat Harahap, Pegawai Muda Teladan 2024, yang menjadikan teknologi sebagai jembatan antara visi pembangunan dan kebutuhan masyarakat.

Perjalanan dari Analis Sistem ke Inovasi Digital

Latar belakang pendidikan yang sejalan dengan dunia infrastruktur membawa Vito bergabung dengan Kementerian PUPR. Ia memulai karier sebagai analis sistem di bidang jalan dan jembatan, lalu merambah ke pengelolaan data, digitalisasi, hingga penerapan kecerdasan buatan (AI). Baginya, infrastruktur bukan sekadar proyek fisik, melainkan tulang punggung pembangunan nasional yang menyentuh kehidupan setiap warga.



“Motivasi saya sederhana namun kuat,” ujar Vito. “Saya ingin pekerjaan saya berdampak langsung bagi masyarakat. Ketika jalan yang saya bantu kelola bisa dilalui dengan aman, itu sudah menjadi kebahagiaan tersendiri.”

Inovasi yang Membentuk Masa Depan

Vito dikenal sebagai sosok yang inovatif, ia memimpin pengembangan AI untuk klasifikasi kendaraan dan deteksi kerusakan jalan, mendorong standarisasi *Building Information Modeling* (BIM), serta merancang IRMSv3 yaitu sistem pendukung keputusan dalam perencanaan preservasi jalan. Meski sempat menghadapi resistensi terhadap perubahan, ia memilih pendekatan kolaboratif antara edukasi, demonstrasi manfaat, dan penegasan bahwa teknologi hadir untuk mendukung, bukan menggantikan manusia.



Kepemimpinan yang Menginspirasi

Meski tergolong muda, Vito menunjukkan kualitas kepemimpinan yang matang dengan sikap empati, integritas, dan kemampuan beradaptasi. Ia memimpin dengan teladan, bukan sekadar instruksi. Dalam membangun hubungan lintas generasi, ia mengedepankan komunikasi terbuka sekaligus menghargai pengalaman senior.

Salah satu tokoh yang menginspirasi adalah Menteri PUPR Basuki Hadimuljono. “Beliau menunjukkan bahwa kepemimpinan adalah soal keteladanan dan perhatian pada detail, sambil tetap berpikir strategis,” kata Vito.

Pengakuan dan Peran Strategis

Terpilih sebagai Pegawai Muda Teladan 2024 bukanlah pencapaian biasa. Vito harus melewati seleksi ketat, mulai dari penilaian esai hingga presentasi gagasan di depan panel. Dalam ajang ini, ia mengusung ide penguatan tata kelola data dan pemanfaatan AI sebagai kunci transformasi infrastruktur.

Pengakuan tersebut membuka jalan bagi peran yang lebih strategis. Vito juga dipercaya sebagai Duta KORPRI, mewakili wajah pegawai muda PUPR untuk menyuarakan aspirasi sekaligus mendorong kolaborasi lintas unit. “Tugas saya adalah menjadi penghubung antara generasi muda dan pimpinan, terutama dalam inovasi digital,” ujarnya.

“Kita perlu terus mencoba menjadi motor inovasi,” tegasnya. “Meregenerasi energi dan keberanian untuk mencoba hal baru adalah hal yang penting dalam menjembatani transisi birokrasi menuju era digital.”



Harapan untuk Generasi Muda dan Masa Depan Pelayanan Publik

70

Vito meyakini generasi muda memiliki potensi besar dalam mendorong reformasi birokrasi. Tumbuh dalam ekosistem digital, mereka lebih cepat beradaptasi dengan perubahan. Ia berharap pelayanan publik di masa depan semakin transparan, berbasis data, dan tetap humanis. Untuk menjaga keseimbangan hidup, ia membiasakan disiplin waktu, olahraga,

dan terus belajar termasuk memperdalam bahasa asing. Vito berpesan untuk generasi muda yang baru bergabung di instansi pemerintah, “Jangan takut menghadapi birokrasi. Jadilah agen perubahan kecil yang konsisten, karena perubahan besar selalu dimulai dari langkah-langkah sederhana” pungkasnya.



“Teladan adalah konsistensi dalam berbuat benar, meskipun tidak ada yang melihat.”

BINEKAPEDIA

ALAT KETIDAKRATAAN (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX) WALKING PROFILOMETER GAMMAN (ENGLO), SALAH SATU ALAT KELAS 1 KETIDAKRATAAN

Oleh : Ade Kurniawan
Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan

Alat Walking Profilometer Gapman



Specifications

- Power supply: 2 x AA alkaline batteries.
- Operating time on battery power: 18 hours (alkaline batteries, GPS powered on).
- Degree of protection: IP 65 (rain and splash-proof).
- Storage capacity: 40 km.
- Operating temperature: -10°C to $+50^{\circ}\text{C}$.
- Profile measuring step: 100 or 50 mm.
- The resolution of profile height measurement: 0.1 mm.
- The resolution of slope measurement: 0.01° or 0.01%.
- Maximum slope: $\pm 30^{\circ}$ ($\pm 50\%$).
- Data transfer: USB, Bluetooth.
- GPS accuracy: ± 2.5 m.
- Date and time are stored for all tests

Metoda Pengujian / Cara Kerja WALKING PROFILOMETER GAPMAN

Walking Profilometer GAPMAN adalah alat ukur portabel yang digunakan untuk mengukur **profil permukaan jalan** secara manual dengan cara (didorong) atau (dijalankan) di atas permukaan jalan. Alat ini sangat berguna dalam pengujian **kerataan jalan** dan penghitungan **IRI (International Roughness Index)** secara lebih detail, terutama ketika hasil pengujian awal menunjukkan ketidaksesuaian dengan standar.

Cara Kerja Walking Profilometer GAPMAN

1. Persiapan Alat dan Kalibrasi

- Alat dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan akurasi pengukuran.
- Biasanya dilengkapi dengan sensor pengukur elevasi dan kemiringan.

2. Pengoperasian Manual (Walking)

- Operator mendorong alat secara perlahan di sepanjang jalur pengujian.

- Sensor akan membaca **tinggi permukaan** pada interval tertentu (misalnya setiap 10 cm).
- Data dikumpulkan secara real-time dan disimpan dalam memori alat.

3. Pengukuran Parameter Jalan Alat ini mampu mengukur beberapa parameter penting:

- **IRI (International Roughness Index):** Indeks kekasaran jalan.
- **Rut Depth:** Kedalaman alur roda.
- **Average Slope:** Kemiringan rata-rata.
- **Profil longitudinal:** Bentuk permukaan jalan sepanjang jalur pengukuran.

4. Analisis Data

- Data yang dikumpulkan diunduh ke komputer.
- Software khusus digunakan untuk menghitung nilai IRI dan parameter lainnya.
- Hasil digunakan untuk mengevaluasi kualitas konstruksi jalan dan menentukan apakah perlu dilakukan perbaikan.

WALKING PROFILOMETER GAPMAN dilaksanakan berdasarkan standar nilai ketidakrataan/
International Roughness Index (IRI) SNI 3426:2022 dan ASTM E1926-08 (2021)



Persiapan sebelum menggunakan alat WALKING PROFILOMETER GAPMAN adalah:

1. Persiapkan alat dan bahan *Battery*, dan alat *GAPMAN* yang sudah dikalibrasi;
2. Tentukan lokasi yang akan diuji;
3. Bersihkan permukaan pavement dari kotoran atau kerikil;
4. Siapkan Gapman dilokasi uji, masukkan battery ke Device, dan nyalakan serta catan no uji yang tertera pada layar alat untuk menentukan nama lokasi uji;
5. Dorong alat Gapman di Lokasi uji;
6. Setelah selesai ambil data dari device Gapman untuk di tari ke PC/Laptop;
7. Analisis hasil dan interpretasi, dan
8. Buat laporan dan dokumentasi.







MAS BIN & MBAK EKA



Selamat Hari Sumpah Pemuda

- 28 Oktober 2025 -

KEMENTERIAN

Kita jangan pernah mewarisi abunya Sumpah Pemuda
Tetapi kita harus mewarisi apinya
Sumpah Pemuda. -Ir. Soekarno