

KEUNGGULAN INOVATIF PEMBANGUNAN JALAN TOL LAYANG PETTARANI UNTUK MENDUKUNG MODERNISASI JARINGAN JALAN DI METROPOLITAN MAMMINASATA

Hermanto Dardak

Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia
dan

PT Marga Utama Nusantara
hermantodardak@yahoo.com

Abstract

The Mamminasata Metropolitan Area, which includes Makassar City, Takalar Regency, part of Gowa Regency, and part of Maros Regency, is the largest metropolitan area in Eastern Indonesia. Traffic congestion is a major challenge faced by Makassar City, due to the mixing of urban traffic flows with regional traffic flows. Modernization of the road network is carried out by building toll roads, which connect airports, ports, industrial areas, and access to the city center, one of which is the Pettarani Flyover. This flyover has several innovative advantages, namely the use of urban flyover construction with segmental box girders, the use of the flying pier head construction method using the Flying Pier Head Formwork System, the use of lead rubber bearings, the use of the Structural Health Monitoring System, the use of a traffic information system, which is integrated with other sections, and 3D modeling with the Terrestrial Laser Scanner Method that supports operation and maintenance. The Pettarani Flyover supports economic growth and regional development, whose construction and operation uses the latest technology and supports the environment and community in a sustainable manner.

Keywords: traffic jam; toll roads; metropolitan; road network; innovative advantage

Abstrak

Kawasan Metropolitan Mamminasata, yang mencakup Kota Makassar, Kabupaten Takalar, sebagian Kabupaten Gowa, dan sebagian wilayah Kabupaten Maros, merupakan metropolitan terbesar di Wilayah Timur Indonesia. Kemacetan lalu lintas merupakan suatu tantangan utama yang dihadapi oleh Kota Makassar, karena berbaurnya arus lalu lintas perkotaan dengan arus lalu lintas regional. Modernisasi jaringan jalan dilakukan dengan membangun jalan tol, yang menghubungkan bandara, pelabuhan, kawasan industri, dan akses ke pusat kota, yang salah satunya adalah Jalan Layang Pettarani. Jalan layang ini memiliki beberapa keunggulan inovatif, yaitu penggunaan konstruksi struktur layang perkotaan dengan *segmental box girder*, penggunaan metode konstruksi kepala tiang jalan layang dengan Metode Flying Pier Head Formwork System, penggunaan *lead rubber bearing*, penggunaan Structural Health Monitoring System, penggunaan sistem informasi lalu lintas yang terintegrasi dengan seksi-seksi lainnya, dan permodelan 3D dengan Metode Terrestrial Laser Scanner yang mendukung operasi dan pemeliharaan. Jalan Layang Pettarani mendukung pertumbuhan ekonomi dan pengembangan wilayah, yang pembangunan dan pengoperasiannya menggunakan teknologi terkini serta mendukung lingkungan dan komunitas secara berkelanjutan.

Kata-kata kunci: kemacetan lalu lintas; jalan tol; metropolitan; jaringan jalan; keunggulan inovatif

PENDAHULUAN

Indonesia mengalami transformasi struktural yang signifikan, dari ekonomi yang didominasi pertanian di perdesaan menjadi ekonomi yang berfokus di perkotaan dan berbasis

jasa. Perkotaan di Indonesia menyumbang sekitar 75% ekonomi Nasional atau Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Perubahan ini memunculkan salah satu fenomena *urban sprawl*, yang memerlukan perhatian perencanaan kota dan pengambil kebijakan, karena skalanya yang berkembang sangat pesat selain juga akibat dampak sampingannya.

Perkotaan di Indonesia tumbuh lebih cepat daripada rerata perkotaan di negara-negara Asia. Pada dekade 2010-an, populasi perkotaan Indonesia meningkat dengan rata-rata 4,7% per tahun, padahal di China, India, dan Thailand hanya tumbuh 3,8%, 3,1%, dan 2,8% (World Bank, 2012). Pada 2012, sekitar 52% penduduk Indonesia tinggal di perkotaan dan diproyeksikan mencapai 68% di tahun 2025 (World Bank, 2014). Namun demikian, manfaat urbanisasi di Indonesia diidentifikasi tidak sebesar di negara lainnya. Di Indonesia, setiap 1% urbanisasi hanya berdampak pada peningkatan GDP sebesar 2%, sedangkan di China, Vietnam, dan Thailand dapat menumbuhkan GDP sebesar 6%, 8%, dan 10% (World Bank, 2012). Nampaknya, permasalahan infrastruktur, seperti kemacetan, polusi, dan rendahnya pelayanan infrastruktur dasar, telah menyumbat pertumbuhan ekonomi.

Pertumbuhan area perkotaan sangat dipengaruhi sistem transportasi. Sebagaimana dipahami, bahwa *urban sprawl* merupakan konsekuensi dari pengembangan transportasi yang sering diikuti oleh perkembangan guna lahan, yang antara lain membentuk *ribbon development*. Untuk itu diperlukan suatu pengembangan transportasi yang prima, untuk keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Makassar sebagai Kota Inti Metropolitan Mamminasata

Metropolitan Mamminasata atau Makassar Raya melingkupi wilayah Kota Makassar, Kabupaten Maros, Takalar, dan Gowa (kawasan Sungguminasa). Di dalam sistem perkotaan nasional, Makassar sebagai kota inti Kawasan Perkotaan Mamminasata berperan sebagai Pusat Kegiatan Nasional (PKN). Metropolitan Mamminasata saat ini berkembang sebagai pintu gerbang bagi pembangunan Indonesia di Kawasan Timur, berfungsi sebagai pusat pelayanan produksi, distribusi, dan jasa, serta sebagai simpul transportasi untuk melayani wilayah nasional atau beberapa provinsi (Dardak, 2010).

Metropolitan Mamminasata merupakan pusat perekonomian di Wilayah Timur Indonesia. Kota Makassar, sebagai ibukota provinsi, mengembangkan konsep pembangunan ekonomi terintegrasi, yang didukung oleh infrastruktur utama, seperti Pelabuhan Makassar (Pelabuhan Soekarno-Hatta), terminal kontainer, Bandara Sultan Hasanuddin, Kawasan Industri Makassar (KIMA), Kawasan Maritim Takalar, serta KIMA 2. Semua pusat kegiatan ekonomi tersebut harus dapat terhubung secara efektif, sehingga modernisasi sistem jaringan jalan sangat penting untuk mendukung aktivitas ekonomi di Metropolitan Mamminasata (lihat Gambar 1).

Jalan Pettarani sebagai *Bypass* Kota Makassar

Jalan Pettarani pada awalnya dibangun dan dilebarkan untuk fungsi jalan arteri primer pada tahun 1990an, dengan status jalan nasional. Jalan ini merupakan jalan *bypass* terhadap pusat kota Makassar, yang membentang di sebelah barat Jalan Pettarani sampai ke Pantai Losari. Jalan ini mendukung peran Kota Makassar yang merupakan perlintasan



Gambar 2 Kondisi Jalan Pettarani sebelum Konstruksi Jalan Tol Layang



Gambar 3 Jalan Tol Layang Pettarani Seksi III melingkapi Seksi I, Seksi II, dan SEksi IV dengan Sistem Tol sebagai Pendukung Perkembangan Metropolitan Maminasata

Modernisasi jaringan jalan untuk mendukung perkembangan kota Makassar telah diawali dengan pembangunan jaringan jalan dengan spesifikasi bebas hambatan, yang dioperasikan pertama kali pada tahun 1999 sebagai jalan tol (Dardak, 2021). Jalan Tol tersebut adalah Seksi I dan Seksi II, yang dikenal sebagai Jalan Tol Reformasi, karena diresmikan pada masa pascareformasi (lihat Gambar 3). Jalan Tol Reformasi memiliki panjang 6,05 km dan menghubungkan kawasan Pelabuhan Soekarno Hatta dan Kawasan Komersial Panakkukang, di sekitar jalan Pettarani Makassar. Selanjutnya dibangun Jalan Tol Seksi IV, yang menghubungkan Bandara dengan jalan tol Seksi I dan Seksi II, yang dioperasikan pada tanggal 26 September 2008. Jalan tol ini memiliki panjang 11,57 km, dengan 2 jalur, yang masing-masing 2 lajur dengan lebar 3,5 m.

Pembangunan Jalan Tol Layang Pettarani

Jalan Tol Layang Pettarani, di Kota Makassar, merupakan perpanjangan Jalan Tol Seksi I dan Seksi II, dengan pelaksanaan konstruksinya tidak memerlukan pembebasan lahan. Konstruksi jalan tol layang dimulai dari akhir Jalan Tol Seksi II, tepatnya di Boule-

vard Panakukang, Jalan Hertasning, dan berakhir sebelum Persimpangan Jalan Sultan Alauddin (Marga Utama Nusantara, 2020). Dengan terintegrasinya Jalan Tol Layang Pettarani dengan jalan tol eksisting, seluruh ruas jalan tol Seksi I, Seksi II, dan Seksi III menjadi satu kesatuan sistem operasi terbuka dengan total panjang 10,4 km. Dengan demikian, Jalan Tol Makassar merupakan jalan tol yang menghubungkan beberapa tempat penting di Kota Makassar, seperti Pelabuhan Soekarno-Hatta, pusat kota, pusat komersial Panakkukang, Kawasan Industri Makassar, dan Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin. Jalan tol ini terdiri atas 4 seksi, dengan panjang total 21,92 km dan mempunyai satu simpang susun.

Jalan Tol Layang Pettarani, yang merupakan bagian dari modernisasi jaringan jalan Metropolitan Mamminasata, didesain untuk memenuhi spesifikasi jalan ekspres bebas hambatan atau jalan tol. Jalan Tol Layang Pettarani ini dibangun melalui penambahan lingkup perjanjian konsesi Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) PT Makassar Metro Network, di bawah naungan PT Marga Utama Nusantara (MUN), yang selanjutnya setelah terbangun mengoperasikan jalan tol sepanjang 10,4 km, yang mencakup Seksi I (3,1 km), Seksi II (3 km), dan Seksi III, yaitu Jalan Tol Layang Pettarani (4,3 km) dengan sistem terbuka. Jalan Tol sepanjang 10,4 km tersebut memiliki 2 jalur yang masing-masing terdiri atas 2 lajur, dengan lebar setiap lajur 3,5 m, dan mempunyai 2 *on-off ramp*, yaitu di Boulevard dan Alauddin.

Pembangunan Jalan Tol Layang Pettarani dimulai pada Bulan April 2018, dari persimpangan Jalan Urip Sumoharjo dengan Jalan Pettarani sampai ke persimpangan Jalan Sultan Alauddin. Tahun 2020, proyek ini dihadapkan pada tantangan pandemi, sehingga selama masa pandemi pembangunan dilaksanakan dengan mengacu pada Protokol Pencegahan Penyebaran COVID-19 dalam Penyelenggaraan Jasa Konstruksi, seperti rajin cuci tangan, menjaga jarak aman, penggunaan alat pelindung diri, menggunakan masker, hingga pemberian nutrisi dan suplemen vitamin yang memadai kepada pekerja di lapangan.



Gambar 4 Potongan Vertikal dengan Deskripsi Konstruksi Jalan Tol Layang Pettarani

Jalan tol layang Pettarani, sepanjang 4,3 km, dibangun di atas Jalan Nasional Pettarani, sehingga pelaksanaan konstruksi bisa berjalan lebih cepat tanpa pembebasan lahan. Konstruksi jalan tol layang ini terdiri atas 74 pier pada jalan utama, 55 pier pada *ramp*, dengan jumlah *box girder* di jalan utama sebanyak 2.752 buah. Pembangunan *On/Off Ramp* Boulevard, dan *On/Off ramp* Alauddin dimaksudkan untuk melayani kendaraan dari Jalan Tol Seksi I dan Jalan Tol Seksi II (lihat Gambar 4).

Pembangunan Jalan Tol Layang Pettarani di Kota Makassar, selain sebagai upaya mengurai kemacetan lalu lintas, sekaligus untuk keseimbangan pengembangan wilayah dengan memperluas modernisasi jaringan jalan nasional ke Wilayah Timur Indonesia (Dardak, 2021). Dengan beroperasinya Jalan Tol Layang Pettarani, kendaraan dari pelabuhan atau bandara dapat langsung menuju pusat komersil Boulevard dan Alaudin maupun menuju Kabupaten Gowa, atau langsung keluar kota tanpa harus terjebak lalu lintas di pusat kota.



Gambar 5 Upaya Menyerasikan Bangunan Jalan Tol Layang Pettarani dengan Lanskap Sekita

Sebagai bagian pembangunan Jalan Tol Layang Pettarani, dilakukan penanaman lebih dari 5000 bibit pohon yang dikaitkan dengan pemasangan lampu, yang disesuaikan dengan material jembatan, untuk estetika visual dan komitmen menjaga kelestarian lingkungan di sekitar proyek, sesuai dengan prinsip 3P, yaitu *People*, *Profit*, dan *Planet*. Dengan demikian, pembangunan Jalan Tol Layang Pettarani tetap memperhatikan keserasian arsitektur bangunan dan lanskap di sekitarnya, untuk menjadi tetenger ikon baru Kota Makassar, seperti terlihat pada Gambar 5.

DATA DAN PEMBAHASAN

Pembangunan dan Pengoperasian Jalan Tol Layang Pettarani mengusung beberapa keunggulan inovatif. Pertama adalah penggunaan Double Launching Gantry dengan Segmental Box Girder pada Konstruksi Struktur Layang di perkotaan. Kedua adalah penggunaan metode konstruksi kepala tiang jalan layang, dengan metode Flying Pier Head Formwork System (FPFS). Ketiga adalah penggunaan Lead Rubber Bearing (LRB). Keempat adalah penggunaan Structural Health Monitoring System (SHMS). Kelima adalah penggunaan Sistem Informasi Lalu lintas yang terintegrasi dengan seksi-seksi lainnya. Terakhir atau keenam adalah penggunaan permodelan 3D dengan Metode TLS Terrestrial Laser Scanner (TLS) yang mendukung operasi dan pemeliharaan.

Penggunaan Double Launching Gantry dengan Segmental Box Girder

Jalan tol dalam kota ini dibangun seluruhnya secara layang dengan tiang yang terletak di median jalan arteri Pettarani. Pembangunan tiang diawali dari akhir Seksi II, 850 m dari persimpangan Jalan Urip Sumoharjo, melewati *fly over* yang ada menuju persimpangan Jalan Boulevard Panakkukang dan Jalan Hertasning dan berakhir pada simpang Jalan Alauddin. Ruang Milik Jalan Pettarani dengan lebar (41-47) m sangat cukup untuk mengakomodasi median sebagai perletakan tiang jalan layang. Konstruksi pembangunan jalan tol layang *Span-by-Span* dengan *Double Launcher Gantry* terbukti dapat mempercepat pelaksanaan konstruksi, meminimalkan gangguan lalu lintas di jalan arteri yang sangat padat tanpa kecelakaan konstruksi, serta meningkatkan mutu pelaksanaan konstruksi. *Box girder* dipasang bentang demi bentang dengan menggunakan *crane* untuk mengangkat dan segmen demi segmen dikerjakan dengan tidak mensyaratkan kesetimbangan seperti pada metode kantilever (lihat Gambar 6). Dalam hal instalasi *parallel box girder*, proses *erection* dapat diselesaikan rata-rata 4 hari kerja untuk 1 bentang (2 *decks*) dan tercepat 3,5 hari kerja untuk bentang 50 m. Metode *double launching gantry* juga mencegah keadaan tidak seimbang pada saat *erection* dari *box girder*. *Box girder* pracetak didesain dengan mengimplementasi Building Information Modelling (BIM) untuk mencapai kualitas dengan presisi tinggi pada *joint* masing-masing segmen *girder*. Penggunaan *box girder* pracetak ini dapat mempercepat waktu konstruksi serta memudahkan pemasangan di lapangan, dan kepastian produk girder secara rutin dan menyeluruh.



Gambar 6 Launching Gantry dengan Segmental Box Girder di Jalan Tol Layang Pettarani

Metode Flying Pier Head Formwork System

Lokasi konstruksi di perkotaan yang padat dan terbatas menjadi pertimbangan utama dalam memilih metode konstruksi, yang utamanya adalah pada fase pekerjaan *pier head*. Urutan pekerjaan *pier head* adalah: (a) instalasi *shoring bearing pedestal*, (b) instalasi *support beam*, *main beam*, dan instalasi *lantai kerja*, (c) instalasi *wing form*, (d) instalasi *side form* dan pekerjaan penulangan *pier head*, dan (e) pengecoran (lihat Gambar 7).

Proyek ini merupakan proyek pertama di Indonesia yang mengusung Flying Pier Head Formwork System (FPFS)-Aluma System. Pada metode ini, distribusi beban begesting, tulangan, dan beton dari *pier head* dipusatkan pada kolom yang ada, sehingga tidak

memerlukan tambahan dukungan *scaffolding*. Penggunaan metode ini dalam pembangunan jalan layang Pettarani dinilai memberikan 5 keunggulan dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional. Pertama adalah keunggulan dari aspek waktu, dengan rata-rata waktu pekerjaan *pier head* selama 14 hari, yang jauh lebih cepat daripada metode konvensional, yang membutuhkan waktu 60 hari. Kedua adalah keunggulan dalam meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan. Ketiga adalah keunggulan dalam mengurangi gangguan pergerakan lalu lintas selama masa konstruksi. Keempat adalah lebih berkeselamatan, dan terakhir atau kelima adalah memberikan efisiensi keekonomian dengan biaya 20% lebih efisien dibandingkan metode konvensional.



Gambar 7 Metode Flying Pier Head Formwork System

Penggunaan Lead Rubber Bearing

Bantalan yang dipasang di bawah *girder* jalan layang, di atas *pier head*, mempunyai fungsi sebagai media untuk menyalurkan beban dari bangunan bagian atas atau super struktur jembatan menuju bangunan bawah atau substruktur jembatan. Untuk menyalurkan beban dari struktur *elevated* ke bagian di bawahnya ketika dilintasi kendaraan, digunakan Lead Rubber Bearing (LRB) atau yang sering disebut Base Isolation Bearing, yang merupakan jenis bantalan yang sesuai untuk struktur bangunan anti gempa, karena teknologi LRB dapat meningkatkan ketahanan struktur dengan memberikan redaman pada gempa. Fitur ini terbukti membantu membuat pondasi menjadi lebih ringan dan membutuhkan luasan yang lebih kecil untuk *pier cap*. Desain LRB berbasiskan perhitungan peta gempa dengan rentang waktu 1000 tahun dan mengakomodasi desain isolasi seismik yang melingkupi pengurangan *stiffness* dan faktor *damping*.

Digunakan pula *link slab*, yaitu bagian *deck* yang menjorok dari *joint* yang menghubungkan 2 bentang *deck* yang bersebelahan, sehingga *deck* terintegrasi menjadi satu kesatuan sewaktu *girder* hanya *simply-supported*. Secara khusus, *expansion joint* dipasang setiap 350 m atau 7 bentang, yang dirancang untuk membuat pengendara menjadi lebih nyaman dan aman, memberikan dampak pada efisiensi biaya proyek, dan memudahkan pemeliharaan secara berkala (lihat Gambar 8).



Gambar 8 Diagram Lokasi Pemasangan Link Slab dan Expansion Joint

LRB yang dilengkapi *Expansion Joint* setiap 350m (7 bentang) dan tiap bentang di antaranya menggunakan *Link Slab Joint* memberikan keunggulan dalam beberapa hal. Di antaranya adalah kemudahan pengerjaan, peningkatan kenyamanan berkendara untuk pengguna jalan, serta lebih awet dan mengurangi biaya pemeliharaan.

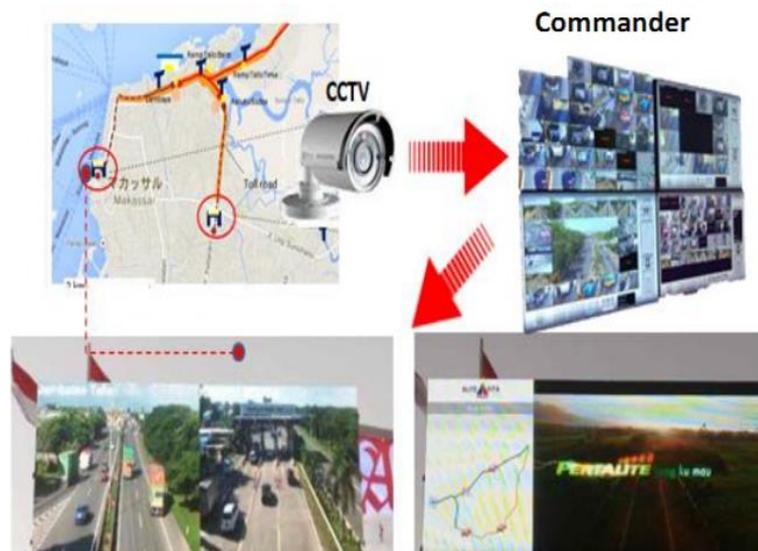
Penggunaan Structural Health Monitoring System

Structural Health Monitoring System (SHMS) dipasang sebagai sistem monitoring secara periodik, dengan menggunakan sensor sensitif yang datanya terbaca secara *realtime* dan terintegrasi. Tujuannya adalah untuk memberikan *early warning* dan mendeteksi perubahan karakteristik atau posisi geometris struktur yang dapat memengaruhi kinerja struktur. Beberapa sensor yang dipasang, antara lain untuk mendeteksi lendutan, puntir, dan regangan baja.

Penggunaan Sistem Informasi Lalu Lintas Terintegrasi

Platform sistem informasi terintegrasi sangat membantu pengguna jalan untuk memilih rute dan mendukung mobilisasi yang efisien. Kerangka sistem informasi dibangun di Jalan Tol Layang Pettarani dengan memasang 19 unit CCTV, termasuk pada *on/off ramp* yang secara sistem terhubung dengan Seksi I, Seksi II, Seksi IV, dan gerbang tol. Selanjutnya sistem ini dihubungkan jaringan serat optik, yang dikendalikan di ruang kendali, untuk mengirimkan informasi yang dimunculkan pada layar LED atau videotron di beberapa titik sebelum masuk ke jalan tol (lihat Gambar 9).

Sistem informasi lalu lintas ini tergolong sebagai yang terkini di Indonesia dan sudah mengusung fitur-fitur baru, seperti *Active CCTV View*, *User Plan Trip*, *Travel Time Estimation*, *Emergency Detection*, dan *Event Reporting (Traffic Hours, Emergency, dan Accident)*. Platform ini mengusung ide bahwa informasi lalu lintas bermanfaat untuk seluruh pemangku kepentingan di Kota Makassar dengan memberikan akses informasi ke pengguna jalan, meningkatkan performa pengendalian lalu lintas, serta memberikan pelayanan keamanan yang terintegrasi, termasuk dukungan pada tanggap darurat kecelakaan dengan lebih baik.



Gambar 9 Sistem Informasi Lalu Lintas Jalan Tol di Makassar

Permodelan 3D dengan Metode Terrestrial Laser Scanner

Untuk mendukung pengoperasian dan pemeliharaan Jalan Tol Layang Pettarani, disiapkan Model 3D menggunakan metode Terrestrial Laser Scanner (TLS). Pengukuran dilakukan di sepanjang Jalan Tol Layang Pettarani bagian atas dan bagian bawah, dengan format standar Building Information Modelling (BIM). Pada masing-masing objek disiapkan banyak model dengan setiap model memiliki informasi yang mencakup dimensi dan volume. Objek yang dimodelkan, antara lain, adalah *pier* dan *pier slab*, *girder*, reflektor, rambu lalu lintas, lampu jalan, pot bunga atas jembatan, pot bunga bawah jembatan, *grill drain* atau penutup lubang pipa pembuangan air, dan *barrier*. Dengan demikian tersedia informasi *data-base* data struktur Jalan Tol Layang Pettarani dalam Model 3D yang akurat, untuk mengelola dan memelihara jalan layang tersebut selama siklus hidupnya.

PENGUJIAN TEKNIS JALAN LAYANG PETTARANI

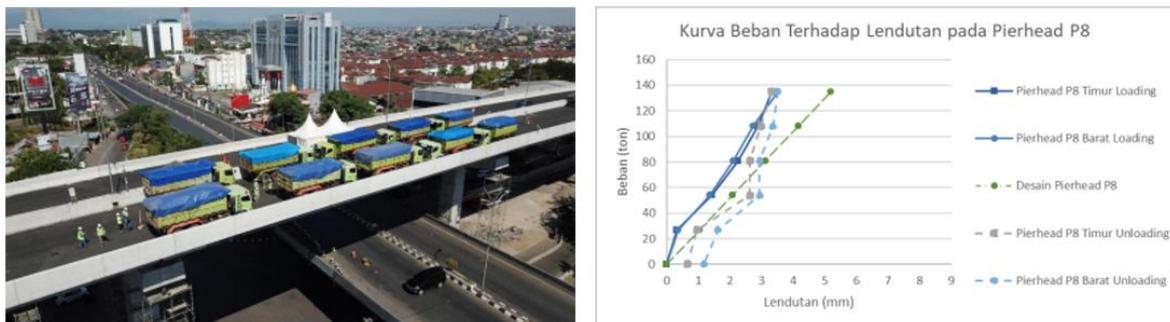
Selain keunggulan inovatif, Jalan Layang Pettarani telah lulus seluruh pengujian teknis sesuai standar yang ada. Uji beton *bored pile* (K-350) menunjukkan kekuatan tekan (f_c') sebesar 39,911 MPa atau lebih tinggi daripada spesifikasi rencana, yaitu 29 MPa. Demikian pula uji kuat tekan beton pada *pile cap* (K-350) memberikan hasil sebesar 46,65 MPa. Uji beton pada kolom (K-400) lulus dengan angka aktual 47,05 MPa, yang lebih tinggi daripada spesifikasi, yaitu 33,2 MPa. Uji beton pada *pier head* dan *box girder* (K-500) juga lulus dengan angka masing-masing bernilai 67,89 MPa dan 58,349 MPa, yang lebih tinggi daripada persyaratan spesifikasi, yaitu 41,5 MPa.

Hasil pengujian Pile Integrity Testing (PIT) yang dilaksanakan oleh Master Geotefondasi menunjukkan pula bahwa rata-rata tidak terdapat pantulan yang signifikan pada reflectogram, sehingga disimpulkan bahwa fondasi tiang bor cukup seragam. Pengujian Pile Driving Analyzer (PDA), yang juga dilakukan oleh insititusi Master Geotefondasi, juga

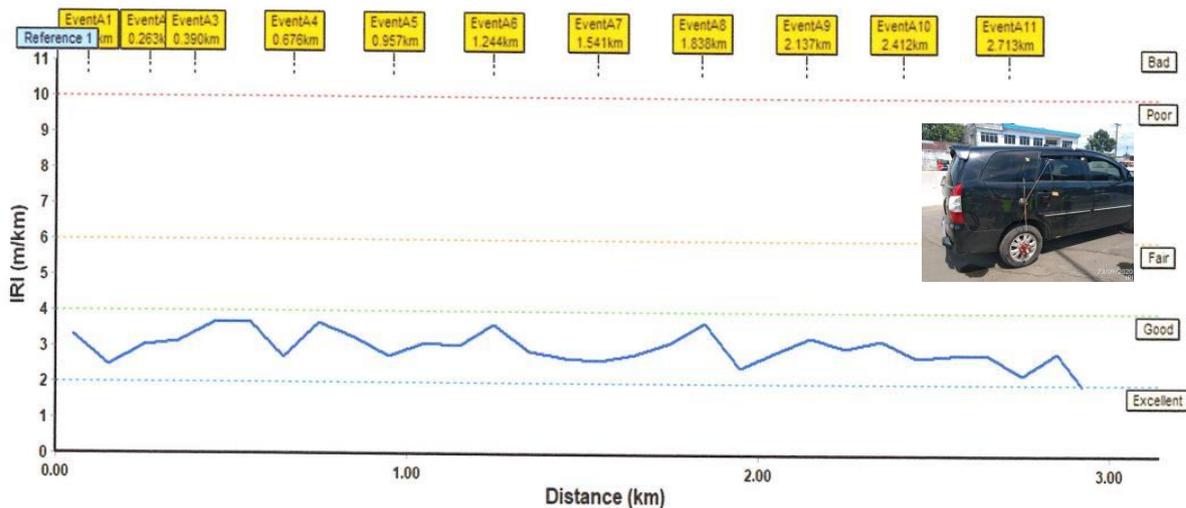
menunjukkan hasil analisis CAPWAP yang memuaskan. Hasil-hasil pengujian tersebut masih diperkuat lagi oleh hasil Pengujian Bidirectional Test (O-Cell Test), yang juga menunjukkan kelulusan.

Uji beban juga dilakukan secara statis dan secara dinamis. Pengujian statik aksial tekan dan statik lateral tekan serta pengujian *thermal integrity profiler* dilaksanakan oleh Geotech Efathama, sedangkan pengujian beban dilaksanakan oleh LKFT Universitas Gadjah Mada. Uji beban menunjukkan bahwa lendutan masih pada rentang yang diizinkan sesuai desain atau spesifikasi (lihat Gambar 10).

Dalam hal kenyamanan, hasil uji kerataan (International Roughness Index, IRI) menunjukkan hasil IRI berkisar antara 2 m/km sampai dengan 3 m/km, yang berarti bagus dan nyaman untuk berkendara (Gambar 11). Hasil pengujian iluminasi lampu, rambu, dan marka juga berada pada rentang yang sesuai dengan standar jalan tol.



Gambar 10 Uji Beban dan Kurva Beban terhadap Deformasi Pier Head P8, Span P8-P9



Gambar 11 Hasil Uji Kerataan Jalan (IRI)

Keseluruhan hasil pengujian tersebut kemudian difinalisasi dengan hasil Uji Laik Fungsi Jalan Tol yang diterbitkan Direktorat Jenderal Bina Marga. Selanjutnya adalah penetapan layak operasi dilakukan oleh Badan Pengatur Jalan Tol.

KESIMPULAN

Pertumbuhan perkotaan di Indonesia tidak hanya berlangsung di Pulau Jawa, namun juga di Metropolitan Mamminasata, sebagai pusat ekonomi di wilayah timur Indonesia. Hal ini harus diatasi dengan kebijakan tata guna lahan yang harmoni dengan transportasi, agar pertumbuhan ekonomi perkotaan tidak tersumbat.

Makassar, seperti halnya Jakarta, memodernisasi sistem jaringan jalan perkotaan melalui pengembangan jaringan jalan tol, yang memisahkan lalu lintas lokal dengan lalu lintas menerus, yang salah satunya adalah melalui pembangunan jalan tol layang. Jalan Layang Pettarani, sebagai Jalan Layang Tol pertama di wilayah timur Indonesia mengusung keunggulan inovatif penggunaan konstruksi struktur layang perkotaan dengan *segmental box girder*, penggunaan metode konstruksi kepala tiang jalan layang dengan metode Flying Pier Head Formwork System, penggunaan Lead Rubber Bearing, penggunaan Structural Health Monitoring System, penggunaan Sistem Informasi Lalu lintas yang terintegrasi dengan seksi-seksi lainnya, dan permodelan 3D dengan Metode Terrestrial Laser Scanner yang mendukung operasi dan pemeliharaan.

Jalan Tol Layang Pettarani telah lulus seluruh pengujian teknis yang dipersyaratkan sesuai standar yang berlaku, yang meliputi uji beton *bored pile*, uji kuat tekan beton pada *pile cap*, uji beton pada kolom, uji beton pada *pier head* dan *box girder*, uji Pile Integrity Testing, uji Pile Driving Analyzer, uji Bidirectional Test (O-Cell Test), serta uji beban statis dan dinamis. Jalan Tol Layang Pettarani ini sangat penting bagi mobilitas dan perekonomian wilayah dan dapat menjadi salah satu model infrastruktur perkotaan masa depan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Dardak, H. 2010. *Menata Jaringan Jalan untuk Optimalisasi Struktur Ruang di Pulau Sulawesi*. Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Dardak, H. 2021. *Modernisasi Jaringan Jalan melalui Sistem Tol*. Lembaga Studi Komunikasi Pembangunan Indonesia (LSKPI). Bekasi.
- Idris, M. dan Priyanto, S. 2010. *Analisis Kinerja Jaringan Jalan di Kota Makassar*. Tesis tidak diterbitkan. Yogyakarta: Program Studi Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Universitas Gadjah Mada.
- Marga Utama Nusantara (MUN), PT. 2019. *Developing Strategic Toll Roads*. Annual Report. Jakarta.
- Marga Utama Nusantara (MUN), PT. 2020. *Proyek Jalan Tol Ujung Pandang Seksi 3 (Jalan Tol Layang A.P. Pettarani)*. Ikon Baru Kota Makassar dan Indonesia Bagian Timur. Jakarta.
- World Bank. 2012. *Indonesia: The Rise of Metropolitan Regions Towards Inclusive and Sustainable-Regional Development*. Washington, DC.
- World Bank. 2014. *Indonesia: Avoiding the Trap*. Development Policy Review 2014. Washington, DC.