

METODE PELAKSANAAN PERKERASAN KAKU PADA PROYEK JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II SELATAN PAKET 2A

Gilbert Christado Purba^{1*}, Imanuel Triando Bago², Hidayati³

^{1*2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, gilbertpurba12@gmail.com*, triando37@gmail.com, hidayati@borobudur.ac.id

ABSTRAK

Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 2A merupakan bagian dari Proyek Strategis Nasional yang bermanfaat untuk mengurangi kemacetan di jalur utama Jakarta–Jawa Barat–Jawa Tengah sekaligus meningkatkan konektivitas antarwilayah melalui penerapan metode perkerasan kaku (*rigid pavement*). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode pelaksanaan perkerasan kaku dan mengkaji peran pengendalian mutu dalam memastikan kualitas dan ketahanan struktur perkerasan kaku pada proyek jalan tol ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode observasi lapangan untuk menganalisis pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku pada proyek tersebut. Metode pelaksanaan pada proyek ini dimulai dari pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah dasar, pekerjaan lapis fondasi dasar, pekerjaan *lean concrete*, pekerjaan perkerasan kaku, dan pekerjaan *finishing*. Selain itu, dilakukan analisis terhadap sistem pengendalian mutu melalui hasil uji laboratorium dan uji lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pelaksanaan perkerasan kaku telah dilakukan sesuai dengan standar dan prosedur teknis yang berlaku, sehingga mampu menjamin kualitas, kekuatan, dan daya tahan konstruksi pada jalan tol agar berfungsi optimal sesuai umur layanannya. Selanjutnya, pengendalian mutu yang konsisten serta pengujian teknis yang ketat memastikan mutu beton dan kestabilan *subgrade* memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode pelaksanaan perkerasan kaku telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan dan mampu menjamin kualitas serta daya tahan struktur jalan tol secara optimal.

Kata kunci : *Metode Pelaksanaan, Perkerasan Kaku, Jalan Tol*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di wilayah Jabodetabek terus mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun [1]. Kondisi ini menyebabkan tingginya volume lalu lintas pada ruas jalan utama, khususnya Jalan Tol Jakarta–Cikampek, yang merupakan salah satu jalur vital penghubung arus logistik dan mobilitas masyarakat dari Jakarta menuju wilayah Jawa Barat dan Jawa Tengah. Kemacetan yang hampir terjadi setiap hari di ruas tol eksisting menimbulkan kerugian ekonomi, pemborosan energi, serta menurunnya efisiensi distribusi barang.

Sebagai solusi, pemerintah melalui program Proyek Strategis Nasional (PSN) membangun Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan [2]. Jalan tol sepanjang lebih dari 60 km ini dirancang sebagai jalur alternatif untuk

mengurangi kepadatan lalu lintas sekaligus meningkatkan konektivitas wilayah. Proyek ini terbagi dalam tiga seksi utama dan melibatkan berbagai pekerjaan konstruksi mulai dari pekerjaan tanah, struktur jembatan, hingga perkerasan jalan.

Salah satu aspek penting dalam pembangunan jalan tol adalah pemilihan jenis perkerasan. Dalam proyek ini, perkerasan kaku (*rigid pavement*) dipilih sebagai lapisan utama pada hampir seluruh ruas jalan utama (*mainroad*), kecuali pada bagian khusus seperti pelat injak di jembatan. Perkerasan kaku menggunakan beton semen Portland (PCC) sebagai material penyusunnya, yang dikenal memiliki ketahanan tinggi terhadap beban lalu lintas berat, stabilitas struktural yang baik, serta umur rencana yang lebih panjang dibandingkan dengan perkerasan lentur [3]. Keunggulan ini menjadikan perkerasan kaku lebih sesuai untuk jalan tol dengan intensitas lalu lintas tinggi.

Secara umum, teknik pelaksanaan perkerasan kaku meliputi tahapan pekerjaan mulai dari persiapan lahan, perataan tanah dasar, pemasangan bekisting dan tulangan, pengecoran beton, hingga pekerjaan *finishing* seperti *grooving*, *cutting*, dan pemasangan *joint sealant*. Setiap tahapan tersebut memiliki standar prosedur teknis yang harus diterapkan agar struktur perkerasan dapat mencapai kekuatan dan keawetan sesuai perencanaan [4].

Selain itu, pengendalian mutu merupakan aspek krusial dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku. Pengendalian mutu (*quality control*) meliputi pemeriksaan mutu material, pelaksanaan pengujian slump dan kuat tekan beton, pengendalian proses pengecoran, serta pemeliharaan beton (*curing*). Penerapan pengendalian mutu yang konsisten memastikan bahwa hasil pekerjaan memenuhi persyaratan teknis dan umur rencana jalan dapat tercapai secara optimal.

Berdasarkan latar belakang dan kondisi lapangan, permasalahan yang akan di bahas dalam penelitian ini adalah bagaimana metode pelaksanaan perkerasan kaku yang diterapkan pada proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan Paket 2A? Dan bagaimana peran pengendalian mutu sebagai faktor utama dalam menjamin kualitas struktur perkerasan kaku pada proyek tersebut? Berdasarkan permasalahan yang ada, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis metode pelaksanaan perkerasan kaku yang diterapkan pada proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan Paket 2A serta mengkaji peran pengendalian mutu dalam memastikan kualitas dan ketahanan struktur perkerasan kaku pada proyek tersebut. Penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran praktis mengenai penerapan metode pelaksanaan dan sistem pengendalian mutu dalam pekerjaan perkerasan kaku sekaligus menjadi referensi bagi proyek serupa di masa depan.



Gambar 1. Layout Proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan



Gambar 2. Layout Proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 2A

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku atau *rigid pavement* merupakan struktur perkerasan yang menggunakan material utama berupa beton semen Portland. *Rigid pavement* banyak diterapkan pada jalan dengan lalu lintas padat serta beban kendaraan berat, seperti jalan tol, karena memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap deformasi dan kerusakan struktural dalam jangka panjang.

Keunggulan utama *rigid pavement* meliputi umur layanan yang relatif panjang (15–40 tahun), biaya perawatan lebih rendah, serta distribusi beban lalu lintas yang lebih efektif ke lapisan tanah dasar. Dalam studi kasus Jalan Tol Serang-Panimbang membuktikan bahwa penggunaan perkerasan kaku secara efisien dapat meminimalisir terjadi kerusakan struktural sebelum umur rencana tercapai, dengan estimasi tebal pelat beton antara 24–32 cm sesuai standar desain Bina Marga dan AASHTO [5].

Analisis perbandingan di berbagai proyek tol juga menunjukkan bahwa perkerasan kaku lebih unggul dalam aspek kekuatan struktur jangka panjang, meskipun membutuhkan investasi awal yang lebih besar dibandingkan perkerasan lentur. Dengan demikian, *rigid pavement* sangat sesuai untuk jalan tol dengan intensitas kendaraan tinggi dan tingkat keandalan yang wajib terjaga selama masa operasional

2.2 Standar dan Prosedur Pelaksanaan Perkerasan

Pelaksanaan perkerasan kaku dimulai dari persiapan lahan dan penyiapan tanah dasar, termasuk pemadatan dan pemeriksaan kestabilan *subgrade*, sesuai dengan standar teknis nasional seperti SNI, dan pedoman teknis Bina Marga serta manual proyek. Tahapan berikutnya adalah pembangunan lapisan *capping* dan *drainage layer* untuk mendukung distribusi beban dan pengendalian air bawah permukaan.

Pengecoran *lean concrete* dilakukan sebagai lapisan transisi sebelum pengecoran slab beton utama. Pemasangan tulangan baja diposisikan tepat untuk mengakomodasi distribusi tegangan akibat beban lalu lintas serta mencegah retak. Pengecoran beton menggunakan metode *slipform paving* atau *fixed form* dengan perhatian khusus pada batching, pemadatan, dan leveling beton agar mencapai mutu dan dimensi yang sesuai.

Tahapan *finishing* mencakup *grooving* untuk meningkatkan ketahanan terhadap selip, pemotongan *joint* agar retak terkendali, dan pemasangan *joint sealant* untuk mencegah infiltrasi air dan material asing yang dapat merusak

struktur beton. Pengendalian mutu terus dilakukan selama setiap tahap menggunakan pengujian standar *slump*, *compressive strength*, dan inspeksi lapangan lainnya sesuai protokol.

2.3 Sistem Pengendalian Mutu dan Pengujian

Sistem pengendalian mutu dalam pekerjaan perkerasan kaku dilakukan melalui proses yang sistematis mulai dari tahap perencanaan mutu, pelaksanaan jaminan mutu, hingga pengendalian mutu secara terus-menerus selama pelaksanaan konstruksi. Tahap awal mencakup penetapan standar bahan, komposisi campuran beton, serta prosedur pengujian material yang harus disetujui oleh pihak yang berwenang.

Pengujian yang umum digunakan meliputi slump test untuk memastikan *workability* beton segar, uji kuat tekan dan lentur beton untuk mengukur kekuatan beton pada umur tertentu, serta pengujian lapangan seperti *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) untuk mengukur kekuatan *subgrade* dan *sand cone test* untuk mengevaluasi kepadatan tanah di lapangan. Selain itu, dilakukan juga *proof rolling* untuk memastikan kestabilan dan kepadatan lapisan pondasi.

Hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terhadap kelayakan bahan dan pekerjaan. Proses pengendalian mutu yang dilaksanakan secara konsisten dan terdokumentasi dengan baik ini bertujuan menjamin kualitas dan ketahanan struktur perkerasan kaku, sehingga umur layanan jalan tol sesuai dengan yang direncanakan dapat tercapai.

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan desain studi kasus pada pelaksanaan perkerasan kaku di Proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan Paket 2A. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran faktual dan mendalam terkait tahapan pelaksanaan konstruksi, serta tingkat kesesuaian dengan spesifikasi teknis yang berlaku.

3.1 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- 1) Data primer, diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara terstruktur dengan pihak pelaksana proyek seperti *site engineer*, *quality control*, dan mandor lapangan. Wawancara digunakan sebagai teknik pengumpulan data primer untuk mendapatkan informasi teknis, identifikasi kendala, serta penerapan sistem pengendalian mutu di lapangan. Observasi dilakukan untuk mendokumentasikan proses pelaksanaan secara aktual.
- 2) Data sekunder, didapat dari studi dokumen teknis proyek, termasuk gambar kerja (*shop drawing*), spesifikasi teknis, *method statement*, dan dokumen *quality control* harian. Data sekunder ini digunakan sebagai pembandingan pelaksanaan di lapangan dengan standar serta acuan prosedur yang berlaku.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan penentuan lokasi studi kasus, penyusunan format observasi dan instrumen wawancara, pengumpulan data di lapangan, dan triangulasi hasil observasi dengan data dokumen teknis. Seluruh

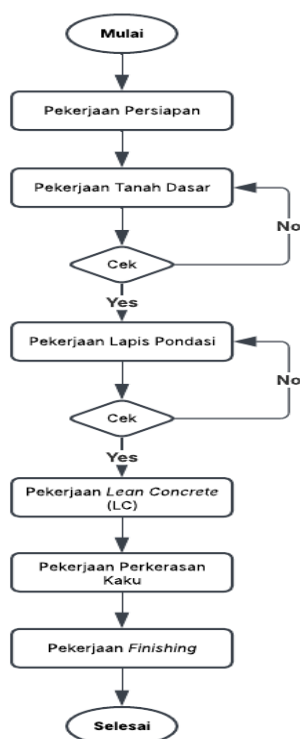
data dianalisis secara deskriptif-kualitatif untuk merumuskan tahapan pelaksanaan yang diterapkan serta kesesuaiannya terhadap acuan teknis.

3.3 Instrumen Penelitian

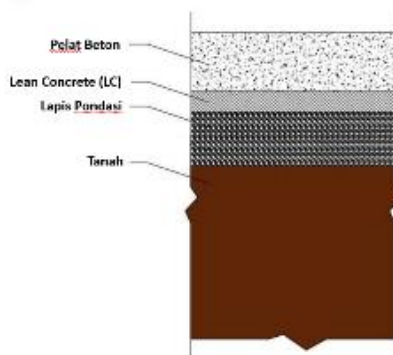
Instrumen penelitian meliputi panduan observasi dan daftar pertanyaan wawancara terstruktur, yang disusun berdasarkan standar pelaksanaan konstruksi dan aspek teknis perkerasan kaku.

4 PEMBAHASAN

4.1 Metode Pelaksanaan



Gambar 3. Diagram Alir Pekerjaan Perkerasan Kaku



Gambar 4. Lapisan Perkerasan Kaku

a. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan pada proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan Paket 2A merupakan langkah awal yang sangat penting untuk memastikan kelancaran proses pelaksanaan konstruksi perkerasan kaku. Tahapan persiapan

ini mencakup serangkaian kegiatan yang harus dilakukan sebelum pekerjaan utama dimulai, agar seluruh kegiatan berjalan sesuai dengan rencana dan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan [6]. Pekerjaan persiapan ini meliputi pengukuran atau *surveying*, mobilisasi sumber daya, serta pembersihan lahan yang akan digunakan untuk pembangunan jalan tol.

1) Pengukuran / *Surveying*

Sebelum pekerjaan galian dan perkerasan dimulai, dilakukan kegiatan pengukuran dan pematokan (*surveying*) untuk memastikan batas area, elevasi, serta posisi struktur sesuai dengan gambar desain (*shop drawing*). Pekerjaan pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur seperti total station dan waterpass, dengan pembuatan titik referensi (*benchmark*) di sepanjang trase jalan. Hasil pengukuran ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan kedalaman galian, ketebalan timbunan, serta pengendalian elevasi pada setiap tahapan pekerjaan. Kegiatan ini dilaksanakan oleh tim surveyor dengan pengawasan langsung dari *site engineer* untuk memastikan hasil pengukuran akurat dan sesuai spesifikasi teknis.

2) Mobilisasi Sumber Daya

Setelah kegiatan pengukuran selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah mobilisasi sumber daya yang diperlukan untuk pekerjaan di lapangan. Sumber daya yang digunakan dalam proyek ini meliputi alat berat, material konstruksi perkerasan kaku, serta tenaga kerja yang akan mendukung kegiatan operasional. Mobilisasi dilakukan untuk memastikan seluruh material dan peralatan tersedia tepat waktu sehingga tidak menghambat jadwal pelaksanaan pekerjaan. Proses mobilisasi ini juga mencakup pendataan dan pengecekan kondisi alat, kesiapan operator, serta pengaturan area penyimpanan material agar tertata rapi di *stockyard* proyek.

3) Pembersihan Lahan

Setelah dilakukan pengukuran, tahap selanjutnya adalah pembersihan lokasi pekerjaan. Pembersihan dimulai dengan menggunakan *bulldozer* untuk membersihkan semak-semak, pohon-pohon, dan rerumputan yang ada di area yang akan diproses. Selain itu, tenaga manual diperlukan untuk membersihkan area-area yang sulit dijangkau oleh alat berat. Kemudian, tahap berikutnya adalah pengupasan tanah (*stripping*), yang dilakukan untuk menghilangkan lapisan tanah yang tidak memenuhi syarat. Proses *stripping* dilakukan menggunakan *bulldozer* dengan ketebalan pengupasan sekitar 30 cm atau sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan [7]. Tanah yang dihasilkan dari proses *stripping* ini dibuang ke area yang tidak mengganggu jalannya proyek atau dibuang ke tempat pembuangan yang telah ditentukan. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan tanah yang tidak stabil dan tidak memenuhi standar daya dukung yang dibutuhkan untuk proyek jalan tol.

b. Pekerjaan Tanah Dasar

Pekerjaan tanah dasar adalah tahap awal dalam konstruksi jalan yang bertujuan untuk mempersiapkan fondasi tanah agar sesuai dengan desain yang direncanakan. Tahap ini melibatkan pengecekan elevasi tanah, pengujian daya dukung tanah, dan penyesuaian kondisi tanah agar mampu menahan beban yang akan diterima oleh perkerasan jalan [8]. Pekerjaan ini penting untuk memastikan kestabilan dan kekuatan tanah dasar, sehingga dapat mendukung lapisan perkerasan jalan secara efektif dan aman.



Gambar 5. Pekerjaan Tanah Dasar

1) Uji Daya Dukung Tanah

Pada tahap ini dilakukan pengujian daya dukung tanah dasar untuk mengetahui nilai CBR aktual di lapangan [9]. Pengujian dilakukan setelah elevasi tanah sesuai dengan desain. Nilai hasil uji DCP ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan apakah kondisi tanah dasar sudah layak atau masih memerlukan penggantian (*replacement*). Apabila nilai CBR yang diperoleh belum memenuhi persyaratan daya dukung sesuai standar, maka dilakukan pekerjaan penggantian tanah pada area tersebut [10].

2) Penggantian Tanah yang Tidak Memadai

Jika dari hasil pengujian DCP diperoleh nilai CBR yang rendah atau kondisi tanah tidak memenuhi persyaratan daya dukung, maka dilakukan pekerjaan penggantian tanah (*replacement*). Tanah yang tidak layak digantikan dengan material *limestone* sesuai dengan tebal rencana. Material *limestone* kemudian dipadatkan menggunakan *vibratory roller* hingga mencapai tingkat kepadatan dan kekuatan yang memenuhi standar. Tujuan penggantian ini adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar agar memenuhi spesifikasi konstruksi jalan tol dan mampu menahan beban kendaraan berat.

3) Timbunan Tanah Pilihan

Setelah pekerjaan penggantian tanah selesai, dilakukan pekerjaan timbunan menggunakan material tanah pilihan berupa tanah merah. Tujuan dari tahap ini adalah untuk membentuk elevasi dan permukaan tanah dasar agar sesuai dengan desain perencanaan. Material tanah merah yang digunakan dipilih berdasarkan karakteristik dan kualitasnya sehingga memenuhi persyaratan teknis daya dukung yang ditetapkan. Proses penimbunan dilakukan secara bertahap hingga mencapai elevasi yang direncanakan, dengan ketebalan setiap lapisan disesuaikan terhadap kondisi lapangan dan spesifikasi proyek jalan tol.

4) Pemadatan Tanah Dasar

Setelah pekerjaan timbunan selesai, tahap berikutnya adalah pemadatan tanah dasar untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukungnya. Pemadatan dilakukan secara bertahap pada setiap lapisan dengan ketebalan maksimum 20 cm per lapis, menggunakan alat berat seperti *sheep foot roller* dan *vibratory roller*. Proses ini dilakukan hingga seluruh area mencapai tingkat kepadatan yang seragam dan sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan, memastikan tanah dasar siap untuk mendukung lapisan perkerasan yang akan diterapkan.

5) Uji Kepadatan

Setelah proses pemadatan selesai, dilakukan uji kepadatan pada setiap lapisan menggunakan metode *sand cone test*. Uji ini bertujuan untuk mengukur tingkat kepadatan tanah pada setiap lapisan, dengan hasil kepadatan berkisar antara 96% hingga 98% untuk setiap lapisan setebal 20 cm [11]. Sementara itu, pada lapisan *subgrade* bagian atas (*top subgrade*), nilai kepadatan yang diperoleh mencapai 100%, menandakan bahwa tanah telah mencapai kekuatan dan stabilitas yang ideal sesuai dengan persyaratan teknis untuk konstruksi jalan. Untuk *top subgrade*, selain *sand cone test* yang menghasilkan nilai kepadatan 100%, lapisan ini juga harus diuji dengan *proof rolling* menggunakan beban minimal 38 ton. Tujuan dari *proof rolling* adalah untuk mengecek lendutan pada lapisan *top subgrade*, memastikan bahwa tidak ada pergeseran atau kerusakan yang dapat mempengaruhi stabilitas jalan tol yang akan dibangun.

c. Pekerjaan Lapis Fondasi Dasar

Pekerjaan lapis fondasi dasar pada konstruksi jalan tol memiliki fungsi utama sebagai elemen penopang beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, serta sebagai lapisan pembagi beban agar tekanan yang diteruskan ke tanah dasar tidak melebihi kapasitasnya. Lapis fondasi ini membantu menjaga kestabilan struktur jalan dengan menyebarkan beban kendaraan secara merata ke lapisan-lapisan di bawahnya, sehingga meminimalkan risiko deformasi atau kerusakan struktur jalan akibat konsentrasi beban yang berlebihan.



Gambar 6. Pekerjaan Lapis Fondasi

1) Pekerjaan *Capping Layer*

Capping Layer adalah lapisan pertama yang diterapkan setelah tanah mencapai *top subgrade*. Lapisan ini berfungsi untuk meningkatkan stabilitas tanah dasar dan mendukung lapisan-lapisan di atasnya [12]. Biasanya, *capping layer* terbuat dari material timbunan pilihan yang berbutir (*granular selected embankment*), yang berfungsi sebagai lapisan penopang sekaligus pemisah antara tanah asli dan lapisan selanjutnya.

- *Dropping Material*

Material untuk *Capping Layer* yang digunakan pada proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 2A, yaitu Agregat Kelas B (agregat 3/4), diangkut menggunakan *dump truck*. Material tersebut kemudian diturunkan di area yang telah ditentukan sesuai dengan gambar rencana. Proses *dropping* ini dilakukan secara merata untuk memastikan material tersebar dengan baik di sepanjang jalur yang akan dikerjakan.

- Penghamparan *Capping Layer*

Setelah material diturunkan, tahap berikutnya adalah penghamparan. Penghamparan dilakukan dengan menggunakan *motor grader* untuk meratakan material *capping layer* di area jalan yang telah ditentukan.

Proses ini bertujuan untuk mendistribusikan material secara merata di sepanjang area proyek sehingga lapisan *capping layer* siap untuk dipadatkan.

- Pematatan *Capping Layer*

Setelah penghamparan selesai, tahap selanjutnya adalah pematatan lapisan setebal 15 cm. Pematatan bertujuan untuk memastikan bahwa material *capping layer* menjadi lebih kompak dan stabil untuk menahan beban lalu lintas yang akan melintas. Proses pematatan dilakukan menggunakan *vibratory roller* yang dilaksanakan dengan beberapa *passing*. Setiap *passing* bertujuan untuk meratakan dan memperbaiki kepadatan material *capping layer*.

- Uji Kepadatan

Setelah pematatan, dilakukan uji kepadatan pada lapisan *capping layer* menggunakan metode *sand cone test*. Uji ini bertujuan untuk mengukur berat isi kering material fondasi setelah dipadatkan. Hasil uji ini akan memastikan bahwa kepadatan lapisan *capping layer* memenuhi standar yang diinginkan, yaitu mencapai 100% kepadatan sesuai dengan spesifikasi teknis yang berlaku. Selain itu, dilakukan juga uji *proof rolling* pada lapisan *capping layer*. *Proof rolling* menggunakan beban roda minimal 38 ton untuk memverifikasi kekuatan dan stabilitas lapisan yang telah dipadatkan [13]. Tes ini bertujuan untuk memeriksa ada tidaknya lendutan atau pergeseran pada lapisan, memastikan bahwa lapisan fondasi tersebut stabil dan memenuhi persyaratan konstruksi jalan tol.

2) Pekerjaan *Drainage Layer*

Drainage Layer adalah lapisan yang digunakan untuk mengalirkan air secara efektif agar tidak terjadi penumpukan air di bawah permukaan jalan. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah akumulasi kelembapan yang dapat merusak struktur jalan [14]. Material yang digunakan biasanya berupa agregat dengan porositas tinggi yang memungkinkan air mengalir bebas, mengurangi risiko kerusakan pada lapisan-lapisan di atasnya. *Drainage layer* juga berfungsi untuk menjaga kestabilan tanah dan mengurangi pengaruh dari perubahan kadar air pada lapisan dasar [15].

- *Dropping Material*

Material untuk *drainage layer* yang digunakan pada proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 2A adalah Agregat Base A dengan ukuran batuan 2-3 cm. Material ini diangkut menggunakan *dump truck* dan diturunkan di sepanjang area yang telah disiapkan sesuai dengan gambar rencana. Proses *dropping* material dilakukan secara merata, memastikan distribusi material di lokasi pekerjaan.

- Penghamparan *Drainage Layer*

Setelah material diturunkan, tahap berikutnya adalah penghamparan. Penghamparan dilakukan dengan menggunakan *motor grader* untuk meratakan material *drainage layer* di area jalan yang telah ditentukan. Proses ini bertujuan untuk mendistribusikan material secara merata di sepanjang area proyek sehingga lapisan *drainage layer* siap untuk dipadatkan.

- Pematatan *Drainage Layer*

Setelah penghamparan, tahap selanjutnya adalah pematatan lapisan *drainage layer* setebal 15 cm menggunakan *vibratory roller* tanpa getar. Pematatan dilakukan untuk meningkatkan kepadatan material

dan memastikan lapisan *drainage layer* cukup stabil untuk mendukung lapisan perkerasan selanjutnya. Pematatan ini memastikan bahwa lapisan fondasi atas memenuhi spesifikasi kekuatan dan kestabilan yang diperlukan.

d. Pekerjaan *Lean Concrete*

Pekerjaan *lean concrete* merupakan salah satu tahap penting dalam konstruksi jalan raya, berfungsi sebagai lapisan fondasi bawah beton perkerasan kaku (*rigid pavement*). Lapisan ini berperan untuk memberikan permukaan kerja yang stabil, rata, dan bersih, serta mencegah kehilangan air dari beton perkerasan ke lapisan di bawahnya. *Lean concrete* juga membantu menyebarkan beban dari pelat beton di atasnya agar tidak langsung mengenai tanah dasar, sehingga meningkatkan daya tahan struktur jalan terhadap beban lalu lintas berat dan kondisi lingkungan.



Gambar 7. Pekerjaan *Lean Concrete*

1) Pemasangan Bekisting

Bekisting berfungsi sebagai cetakan untuk memastikan struktur beton sesuai dengan bentuk, rupa, posisi, dan alinyemen yang telah direncanakan. Pemasangan bekisting dilakukan pada kedua sisi struktur, baik sisi luar maupun dalam, serta pada bagian lain yang diperlukan, seperti untuk lubang-lubang atau elemen struktural lainnya.

2) Pengecoran *Lean Concrete*

Setelah bekisting siap, dilakukan proses pengecoran dengan menggunakan beton kelas E ($f'c = 10 \text{ kg/cm}^2$) dan ketebalan 10 cm. Pengecoran dilakukan secara merata di seluruh area kerja menggunakan *mixer truck* yang menuangkan adonan beton secara langsung ke lokasi. Beton kemudian diratakan menggunakan alat perata (*screed*) agar permukaannya halus, rata, dan sesuai dengan elevasi desain.

3) Pematatan *Lean Concrete*

Setelah adukan beton dituangkan, dilakukan pematatan untuk menghilangkan rongga udara dan memastikan beton padat serta homogen. Pematatan dilakukan menggunakan *vibrator* yang digerakkan secara merata di seluruh permukaan pengecoran. Langkah ini penting agar beton memiliki kepadatan optimal dan mampu mencapai kekuatan tekan sesuai mutu yang.

4) Perataan *Lean Concrete*

Setelah proses pemadatan, permukaan beton diratakan kembali menggunakan besi hollow (jidar) atau mesin perata untuk memastikan kelurusan, elevasi, dan kemiringan permukaan sesuai dengan spesifikasi teknis. Hasil perataan ini akan menjadi acuan langsung bagi pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku di atasnya.

5) *Curing*

Tahap terakhir adalah *curing*, yaitu proses perawatan beton untuk mencegah penguapan air yang terlalu cepat selama pengerasan. Pada proyek ini, *curing* dilakukan dengan cara menutup permukaan lean concrete menggunakan geotekstil non woven yang dijaga dalam kondisi lembap. Metode ini efektif dalam menjaga kelembaban beton, menghindari retak susut dini, serta memastikan beton mencapai kekuatan yang optimal sebelum dilanjutkan ke tahap pekerjaan berikutnya.

e. Pekerjaan Perkerasan Kaku

Pekerjaan perkerasan kaku merupakan bagian utama dan final dalam pembangunan jalan tol yang menggunakan struktur beton semen Portland sebagai lapisan permukaan. Terdiri dari dua tahap utama, yaitu pembesian perkerasan kaku dan pengecoran beton, pekerjaan ini bertujuan membentuk lapisan perkerasan yang kuat, tahan lama, dan mampu menahan beban lalu lintas berat selama masa layanan jalan.



Gambar 8. Pekerjaan Perkerasan Kaku

1) Pekerjaan Pembesian Perkerasan Kaku

- Pemasangan Bekisting

Pemasangan bekisting dilakukan untuk membentuk struktur beton sesuai dengan desain yang telah direncanakan [16]. Bekisting dipasang di sisi luar dan dalam, dan dipastikan sesuai dengan posisi dan alinyemen yang telah ditentukan. Bekisting ini digunakan untuk membatasi bentuk beton yang akan dicor, memastikan ketepatan ukuran dan posisi struktur beton.

- Penggelaran Plastik Cor

Plastik cor dipasang antara lapisan *lean concrete* dan beton. Fungsi plastik cor adalah untuk mencegah air semen pada adukan beton merembes ke dalam lapisan *lean concrete* [17]. Selain itu, plastik cor berfungsi untuk menjaga kelembapan beton agar proses pengerasan beton dapat berlangsung optimal. Penggelaran plastik cor juga mempercepat proses pemasangan lantai kerja karena lebih efisien dibandingkan menggunakan bahan lain seperti *screed*.

- Pemasangan Tulangan Besi *Wiremesh*

Fungsi utama *wiremesh* adalah untuk memperkuat struktur beton dan mencegah terjadinya keretakan pada permukaan perkerasan jalan [18]. Tulangan besi *wiremesh* dipasang pada area tertentu, seperti setelah dan sebelum jembatan (*single wiremesh*), pada gerbang tol (*double wiremesh*), atau pada bagian yang *lean concrete*-nya retak. *Wiremesh* yang digunakan berdiameter \varnothing 8 mm dengan jarak penulangan 15 x 15 cm.

- Pemasangan *Dowel*

Dowel digunakan untuk menghubungkan segmen beton secara melintang. Fungsinya adalah untuk mengendalikan pergerakan serta memperkuat sambungan antar segmen beton [19]. *Dowel* yang digunakan berdiameter \varnothing 38 mm dan panjang 45 cm, dengan jarak antar *dowel* 30 cm. Bagian ujung *dowel* yang bergerak (*move*) dapat dilindungi menggunakan plastik atau pipa PVC untuk memastikan bahwa *dowel* dapat bergerak sesuai dengan arah pergerakan kendaraan. Pemasangan *dowel* dilakukan dengan mempertimbangkan pergerakan (*move*) dan keteguhan (*fix*) dari segmen beton yang terhubung.

- Pemasangan *Tie Bar*

Besi *Tie Bar* adalah besi berulir \varnothing 16 mm dengan panjang 70 cm yang terletak pada arah memanjang, yakni sambungan antara lajur kiri dan lajur kanan. *Tie bar* digunakan pada konstruksi jalan yang terdiri dari dua jalur untuk mengendalikan retak dan mengakomodasi pergerakan plat beton dalam arah memanjang. Jarak antar *tie bar* adalah 60 cm, dan pemasangannya bertujuan untuk memperkuat struktur beton serta menjaga kekuatan sambungan antar segmen beton yang bergerak. *Tie bar* memastikan pergerakan antar segmen beton tetap terkontrol dengan baik, mencegah terjadinya keretakan dan kerusakan struktural pada lapisan perkerasan kaku.

2) Pekerjaan Pengecoran Perkerasan Kaku

- Persiapan Beton *Ready Mix*

Beton yang digunakan pada pekerjaan pengecoran perkerasan kaku adalah beton kelas P dengan *flexural strength* (FS) 45 kg/cm², yang diproduksi dalam kondisi *ready mix* untuk memastikan kualitas dan konsistensi beton yang optimal selama proses pengecoran [20].

- *Slump Test*

Beton yang digunakan dikontrol melalui uji *slump* untuk memastikan tingkat kelecakan (*workability*) sesuai kebutuhan. Pada pekerjaan dengan *slip form paver* (wirtgen), nilai *slump* dijaga pada rentang 3-5 cm, sedangkan pada cor manual rentang *slump* lebih tinggi, yaitu 7,5±2 cm, agar memudahkan pengerjaan dan pemadatan secara konvensional [21]. Selain itu, dilakukan pengecekan agregat meliputi gradasi, kadar lumpur, serta kadar air untuk menjamin konsistensi mutu campuran beton.

- Penghamparan Beton

Setelah beton siap, proses penghamparan beton dilakukan menggunakan alat yang sesuai untuk memastikan lapisan beton tersebar rata pada permukaan jalan yang telah disiapkan. Penghamparan dilakukan secara hati-hati agar beton dapat merata dan mencapai ketebalan yang telah ditentukan. Proses ini sangat penting untuk memastikan distribusi beton yang sempurna di seluruh area konstruksi jalan dan memastikan permukaan yang halus dan siap untuk tahap pemadatan berikutnya.

- Pemadatan Beton

Setelah adukan beton dituangkan, dilakukan pemadatan untuk menghilangkan rongga udara dan memastikan beton padat serta homogen. Pemadatan dilakukan menggunakan *vibrator* yang digerakkan secara merata di seluruh permukaan pengecoran untuk memastikan beton tidak terdapat rongga dan kepadatan tercapai secara optimal [22]. Ketebalan beton yang digunakan adalah 30 cm, sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Langkah ini penting agar beton memiliki kepadatan optimal dan mampu mencapai kekuatan tekan sesuai mutu yang direncanakan.

- Perataan Perkerasan Kaku

Setelah proses pemadatan, permukaan beton diratakan kembali menggunakan besi hollow (jidar) atau mesin perata untuk memastikan kelurusan, elevasi, dan kemiringan permukaan sesuai dengan spesifikasi teknis [23]. Hasil perataan ini akan menjadi acuan langsung bagi pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku yang lebih lanjut.

- *Curing*

Tahap terakhir adalah *curing*, yaitu proses perawatan beton untuk mencegah penguapan air yang terlalu cepat selama pengerasan. Pada proyek ini, *curing* dilakukan dengan cara menutup permukaan perkerasan kaku menggunakan geotekstil non woven yang dijaga dalam kondisi lembap. Metode ini efektif dalam menjaga kelembaban beton, menghindari retak susut dini, serta memastikan beton mencapai kekuatan yang optimal sebelum dilanjutkan ke tahap pekerjaan berikutnya.

f. Pekerjaan *Finishing*

Pekerjaan perkerasan kaku merupakan bagian utama dan final dalam pembangunan jalan tol yang menggunakan struktur beton semen Portland sebagai lapisan permukaan. Terdiri dari dua tahap utama, yaitu pembesian perkerasan kaku dan pengecoran beton, pekerjaan ini bertujuan membentuk lapisan perkerasan yang kuat, tahan lama, dan mampu menahan beban lalu lintas berat selama masa layanan jalan.



Gambar 9. Pekerjaan *Finishing*

1) Pekerjaan *Grooving*

Pekerjaan *grooving* dilakukan 1 jam setelah pengecoran beton. Proses ini bertujuan untuk memberikan tekstur pada permukaan beton, meningkatkan daya cengkeram kendaraan, serta membantu dalam pengaturan aliran air di permukaan jalan. *Grooving* dilakukan dengan menggunakan alat khusus untuk membuat alur atau garis-garis di permukaan beton.

2) Pekerjaan *Cutting*

Pekerjaan *cutting* dilakukan setelah 8-12 jam (dengan jarak antar potongan sekitar 5 meter). Pemotongan dilakukan sedalam 1/4 dari ketebalan beton untuk mengurangi kemungkinan retak pada beton akibat pergerakan. Pemotongan dilakukan menggunakan mesin pemotong beton dan harus dilakukan dengan ketelitian agar potongan sesuai dengan spesifikasi desain.

3) Pekerjaan *Joint Sealant*

Pekerjaan ini dilakukan setelah pemotongan, di mana *sealant* atau bahan pengisi digunakan pada sambungan-sambungan beton yang terbentuk selama proses *cutting*. *Sealant* digunakan untuk mencegah air atau material lain masuk ke dalam sambungan, yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton. Penggunaan *joint sealant* memastikan kekuatan dan daya tahan permukaan jalan beton dalam jangka panjang.

4.2 Pengendalian Mutu

Pengendalian mutu menjadi aspek yang sangat penting dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku pada proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan Paket 2A untuk memastikan bahwa kualitas konstruksi sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan. Dalam proyek ini, khususnya pekerjaan perkerasan kaku, ada berbagai jenis pengujian yang dilakukan secara rutin dan konsisten sejak tahap persiapan hingga pelaksanaan, antara lain:

1) Pengujian di Laboratorium

- Uji Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength Test*)

Pengujian ini dilakukan pada benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang sudah berumur 7, 14, dan 28 hari. Benda uji diletakkan pada mesin tekan dan diberikan beban bertahap hingga terjadi kehancuran. Hasil uji menunjukkan nilai kuat tekan beton sebagai indikator kapasitas beton menahan beban vertikal, sesuai spesifikasi SNI dan Bina Marga

- Uji Kuat Lentur Beton (*Flexural Strength Test*)

Pengujian ini menggunakan benda uji balok berukuran 15×15×60 cm. Balok diletakkan pada dua tumpuan dan dibebani di tengah secara bertahap hingga retak atau patah. Hasilnya adalah nilai kuat lentur beton yang menjadi syarat ketahanan beton terhadap gaya lentur dari beban lalu lintas, konfirmasi mutu beton sesuai spesifikasi proyek.

2) Pengujian di Lapangan

- *Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Test*

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Test bertujuan untuk mengukur daya dukung tanah asli di lapangan dengan menentukan nilai *California Bearing Ratio (CBR)*. Pengujian ini dilakukan pada tanah asli (*subgrade*) untuk mendapatkan nilai CBR yang menjadi acuan utama dalam menilai kemampuan tanah menahan beban lalu lintas jalan tol. Nilai CBR minimal yang dipersyaratkan adalah 6%. Jika nilai CBR di bawah batas tersebut, maka diperlukan penggantian tanah (*replacement*) agar mencapai standar teknis yang dipersyaratkan guna memastikan kestabilan dan keawetan struktur perkerasan jalan tol.

- *Sand Cone Test*

Pengujian *Sand Cone* dilakukan untuk mengukur tingkat kepadatan lapangan dari tanah atau material granular pada pondasi bawah jalan. Metode ini dilakukan dengan membuat lubang uji kecil pada permukaan tanah yang akan diuji, kemudian mengisi lubang tersebut menggunakan pasir kering, pasir kuarsa. Dengan menghitung volume pasir yang digunakan untuk mengisi lubang, dapat diperoleh nilai kepadatan material tersebut. Pengujian ini biasanya diterapkan pada lapisan tanah timbunan yang dilakukan secara bertahap dengan ketebalan maksimal 20 cm per lapisan, serta pada lapisan *capping layer*. Hasil pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa kepadatan lapisan sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan, sehingga mampu memberikan daya dukung efektif untuk struktur perkerasan jalan.

- *Proof Rolling Test*

Pengujian *Proof Rolling* dilakukan dengan melintasi lapisan *top subgrade* dan *capping layer* menggunakan kendaraan berat, seperti *dump truck* dengan bobot minimal 38 ton. Tujuan pengujian ini adalah untuk mendeteksi adanya deformasi atau kerusakan pada permukaan yang bisa mengindikasikan ketidakstabilan struktur pondasi. Jika ditemukan deformasi, maka perbaikan harus segera dilakukan. Uji *proof rolling* ini bertujuan memastikan bahwa pondasi telah cukup stabil untuk menahan beban pekerjaan konstruksi berikutnya, sehingga kualitas dan keamanan pekerjaan perkerasan kaku tetap terjaga.

- *Slump Test*

Pengujian *slump* bertujuan untuk menilai tingkat kelecakan dan konsistensi beton segar sebelum dilakukan proses pengecoran. Pengujian ini memakai kerucut Abrams yang diisi beton secara bertahap lalu dipadatkan dengan penusukan. Setelah kerucut diangkat secara vertikal, penurunan tinggi beton diukur. Nilai *slump* tersebut mencerminkan kemudahan pengerjaan dan mutu beton sesuai standar. Untuk pengecoran manual, nilai *slump* yang diharapkan adalah sekitar 7,5 cm dengan toleransi ± 2 cm, sedangkan untuk pengecoran menggunakan *slipform paver* (wirtgen), nilai *slump* yang diharapkan adalah sekitar 3 cm dengan toleransi +2 cm.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi dan analisis pada pekerjaan pekerjaan kaku di Proyek Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Pelaksanaan konstruksi perkerasan dilakukan melalui tahapan utama yang meliputi persiapan lahan, persiapan tanah dasar, pemasangan lapisan fondasi dasar (*capping layer* dan *drainage layer*), *lean concrete*, pengecoran beton dengan metode manual atau *slipform paver*, serta pekerjaan *finishing* seperti *grooving*, *cutting*, dan *joint sealant*. Semua tahapan ini dilakukan sesuai dengan spesifikasi teknis yang berlaku, untuk memastikan kualitas dan ketahanan jalan tol. Pengendalian mutu pada pekerjaan perkerasan kaku sangat penting untuk menjamin kualitas konstruksi yang sesuai dengan spesifikasi teknis. Pengujian pada tanah dasar seperti *DCP test*, *sand cone test*, dan *proof rolling test* menjadi aspek utama dalam memastikan kekuatan dan kestabilan *subgrade* yang akan menopang struktur perkerasan. Selain itu, pengujian pada mutu beton seperti *slump test*, kuat tekan, dan kuat lentur juga dilakukan secara konsisten untuk memastikan beton yang digunakan memenuhi persyaratan teknis. Dengan penerapan pengendalian mutu yang ketat ini, diharapkan kualitas dan ketahanan jalan tol dapat terjaga secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramadhani, A.Z., 2025. *ANALISIS TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODE AASHTO 1993 DAN MDPJ 2024 PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL JAKARTA – CIKAMPEK II SELATAN SEKSI IIB*. Politeknik Negeri Jakarta.
- [2] Sembiring, Y.H. and Nur, D.H., 2023. *ANALISIS STABILITAS TANAH SUBGRADE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK 2 SELATAN PAKET 3*. Available: <https://jurnalftspjayabaya.ac.id/index.php/jsa/article/view/137>
- [3] Novitasari and Hidayati, N., 2023. *Analisis Pengendalian Mutu Pada Pekerjaan Rigid Pavement Proyek Jalan Tol Jakarta - Cikampek II Selatan Paket 3*. Available: <https://id.scribd.com/document/694517313/168-173>
- [4] Raihan Suganda, M., Yenny, D., and Liucius, U., 2024. *METODE KONSTRUKSI RIGID PAVEMENT PADA PROYEK JALAN TOL*. JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil, vol. 7, no. 1, pp. 275–288.
- [5] Sihombing, P.J.D. and Susilo, B.H., 2023. *Analisis Tebal Lapis Perkerasan Kaku Pada Jalan Tol Serang–Panimbang, Banten*. Prosiding Seminar Intelektual Muda, vol. 5, no. 2.
- [6] Ahmad, A., 2018. *Uraian Metode Pelaksanaan Pekerjaan Jalan Rigid Pavement*. Available: <https://id.scribd.com/document/376192950/Uraian-Metode-Pelaksanaan-Pekerjaan-Jalan-Rigid-Pavement>
- [7] Timothy, J.A.J., 2023. *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Rigid Pavement Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor - Ciawi - Sukabumi Seksi II*. Available: <https://library.universitaspertamina.ac.id/xmlui/handle/123456789/7841>
- [8] Sumarna, T., 2015. *PENGUJIAN DAYA DUKUNG LAPIS TANAH DASAR (SUBGRADE) PADA TANAH TIMBUNAN UNTUK LAPISAN JALAN DENGAN ALAT DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)*, vol. 17, no. 1.
- [9] Nasrullah, N., Lubis, K., and Amsuardiman, A., 2024. *Analisis Daya Dukung Tanah Lapisan Fondasi Jalan pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Tahap I (Zona 1)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS), vol. 3, no. 2, pp. 86–94.
- [10] Saragih, M.S.M. and Wulandari, T.E., 2023. *ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN KOMBINASI METODE REPLACEMENT DAN PRELOADING MENGGUNAKAN PLAXIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL PEKANBARU – PADANG*. Prosiding SNAPP, vol. 2, no. 1, pp. 365–376.
- [11] Majid, C.A. and Akhsan, M.Y., 2024. *TUGAS AKHIR EVALUASI NILAI UJI SAND CONE PADA PROYEK JALAN TOL SOLO-YOGYAKARTA-NYIA KULON PROGO SEKSI PAKET 1.1 : SOLO-KLATEN (STA 00+000-STA 22 +300)*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- [12] Supriyanti and Darmadi, 2023. *PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA RUAS JALAN PASIR PUTIH KELURAHAN PASIR PUTIH KECAMATAN SAWANGAN KOTA DEPOK*.
- [13] Subagyo, S. and Wijaya, D.N., 2021. *PENGENDALIAN PEKERJAAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL INTERCHANGE BANDARA ADI SOEMARMO SOLO*. Available: <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive>
- [14] Farahani, Z.H. and Farahani, A., 2023. *Study on Drainage of Pavement Layers and Improvement Strategies: Case Study*. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, vol. 11, no. 1, pp. 111–126.
- [15] Ghavami, M.S.M., Hosseini, M.S., Zavattieri, P.D., and Haddock, J.E., 2019. *Investigating the Need for Drainage Layers in Flexible Pavements*. West Lafayette, IN.
- [16] Khirid, T., Kangude, P., and Kedari, S., 2023. *Construction of Rigid Pavement by Slip form Paver*. IJRASET, vol. 11, no. 7, pp. 1182–1184.
- [17] Ren, D. and Houben, L., 2020. *Modelling the effect of plastic sheet curing on early age temperature development in concrete pavement*. International Journal of Pavement Engineering, vol. 21, no. 5, pp. 559–570.
- [18] Rasidi, N., Dora, M.P.I., and Ningrum, D., 2022. *Experimental Testing Comparison between Wiremesh Reinforcement and Plain Reinforcement on Concrete Slabs*. Available: <https://attractivejournal.com/index.php/ajse/article/view/405>
- [19] Bedřich, S. and Grošek, J., 2024. *Dowel bars – reinforcing elements of cement concrete pavements*. Acta Polytech CTU Proc, vol. 47, pp. 1–7.
- [20] Hutami, R.A. and Aisyah, S., 2024. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*.
- [21] Suyadi, D.E. and Firdaus, 2023. *PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS ALAT KERJA SLIPFORM PAVER, SEMI SLIPFORM PAVER PADA PEKERJAAN RIGID*

PAVEMENT. Available: <https://repository.binadarma.ac.id/7926/5/ARTIKEL.pdf>

- [22] Pratiwi, N., 2024. *PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS SLIPFORM SP500 DBI DAN NON DBI PEKERJAAN RIGID PAVEMENT PADA PROYEK TOL TEBING TINGGI-INDRAPURA COVER SKRIPSI OLEH: NIA PRATIWI 228110002 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN 2024*.
- [23] Armando, F. and Nursin, A., 2022. *Produktivitas Rencana Dengan Aktual Pekerjaan Rigid Pavement Dengan Slipform Concrete Paver (Studi Kasus Jalan Tol Kayuagung – Palembang - Betung Seksi 3B)*. *Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*, vol. 4, no. 2, pp. 61–66.