

# KAJIAN PENANGANAN KERUSAKAN STRUKTUR RIGID PAVEMENT MELALUI DESAIN ULANG TULANGAN BETON DAN WIREMESH (STUDI KASUS JALAN XYZ)

Junaidi <sup>1\*)</sup>, Supriyadi <sup>1)</sup>, Anis Wahyuni <sup>1)</sup>, M. Rifqi Mubarak <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang  
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang 50275

\*E-mail: [junaiditspolines@gmail.com](mailto:junaiditspolines@gmail.com)

## ABSTRAK

Jalan tol merupakan infrastruktur penting untuk melancarkan konektivitas dari satu tempat ke tempat lain serta mengurangi waktu perjalanan kendaraan. Salah satu jalan tol yang dalam tahap pembangunan di Indonesia adalah Jalan Tol XYZ. Proyek jalan tol ini terdiri dari pekerjaan slab on pile, pekerjaan timbunan, pekerjaan jembatan, pekerjaan perkerasan kaku (rigid pavement) dan perkerasan lentur (flexible pavement). Dalam pekerjaan perkerasan kaku, proyek ini terjadi permasalahannya itu terjadi keretakan perkerasan kaku yang berada diatas box culvert yang pada struktur bawahnya dilakukan perbaikan tanah menggunakan tiang pancang. Oleh karena itu, tulisan ini dilakukan untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya keretakan tersebut serta mengusulkan solusi teknisnya sehingga hasilnya dapat digunakan untuk menjadi referensi dalam pekerjaan selanjutnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa setelah proses pengecoran perkerasan kaku, tanah dasar di bawahnya masih mengalami penurunan sebesar 10 mm dan 6 mm. Akibatnya timbul keretakan pada struktur perkerasan kaku karena perbedaan penurunan dari box culvert yang diasumsikan tidak mengalami penurunan kembali dengan timbunan di sekitarnya yang masih mengalami penurunan. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa desain perkerasan kaku menggunakan tulangan tunggal sehingga kapasitas beton ( $\mu$ ) lebih kecil dari berat beton itu sendiri yang berakibat beton mengalami keretakan. Penanganan perbaikan yang diusulkan adalah plat beton bertulang yang awalnya menggunakan tulangan tunggal diubah menjadi tulangan ganda yang diletakkan pada daerah tarik dan tekan penampang beton agar mampu menahan gaya tekan yang timbul dari tanah dan dari beban lalu lintas yang lewat. Selain itu juga ditambahkan tulangan wiremesh pada daerah tarik beton agar jika terjadi penurunan tanah masih mampu menahan beban tersebut.

**Kata kunci:** Rigid pavement, penurunan tanah, tulangan beton, wiremesh.

## PENDAHULUAN

Jalan tol merupakan infrastruktur penting untuk melancarkan konektivitas dari satu tempat ke tempat lain dengan memangkas waktu perjalanan lebih singkat. Manfaat dari adanya jalan tol adalah meningkatnya efisiensi mobilitas barang, logistik, dan orang, membuka daerah dengan pusat pertumbuhan ekonomi, kawasan pariwisata terintegrasi sehingga meningkatkan daya saing dan nilai tambah pertumbuhan ekonomi regional, lokasi dekat pintu keluar - masuk tol akan berkembang,

serta meningkatnya PDRB seiring naiknya investasi (Pranowo, 2020).

Salah satu jalan tol yang dalam tahap pembangunan di Indonesia adalah Jalan Tol XYZ. Proyek jalan tol ini terdiri dari pekerjaan slab on pile, pekerjaan timbunan, pekerjaan jembatan, pekerjaan perkerasan kaku (rigid pavement) dan perkerasan lentur (flexible pavement). Dalam setiap pekerjaan pada proyek ini terdapat panduan metode pelaksanaan (work method statement) sebagai pedoman dalam proses pelaksanaan pada setiap pekerjaannya.

Dalam pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada proyek ini terjadi permasalahan yaitu terjadi keretakan *rigid pavement* yang berada di atas *box culvert* yang pada bawahnya dilakukan perbaikan tanah menggunakan tiang pancang. Oleh karena hal tersebut, tulisan ini dilakukan untuk menganalisis faktor - faktor yang menyebabkan terjadinya keretakan *rigid pavement* di atas *box culvert* yang dipancang tersebut serta mengusulkan solusi teknisnya sehingga hasilnya dapat digunakan untuk menjadi referensi perbaikan pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) di atas *box culvert* pada segmen selanjutnya.

Penelitian - penelitian terkait topik penanganan masalah penurunan tanah dan keretakan jalan beton telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti Tan, et al (1996), Cascone, et al (2013), Dhakal, et al (2016), serta Susiazti, et al (2020). Xiao, et al (2018) meneliti retak memanjang trotoar beton polos bersendi di Louisiana dengan melakukan investigasi lapangan dan simulasi numerik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masalah konstruksi seperti pembentukan sambungan longitudinal yang tidak memadai dan dukungan dasar yang tidak memadai merupakan salah satu faktor kontribusi khususnya untuk retak longitudinal prematur dan lokal. Namun, survei lapangan menunjukkan bahwa jumlah retak longitudinal meningkat dengan pelat melebar dan bahu beton terikat. Hasil dari simulasi numerik selanjutnya menunjukkan bahwa geometri pelat dapat sangat mempengaruhi potensi retak memanjang, terutama ketika lalu lintas terdiri dari lebih banyak sumbu dem dan tridem.

Penelitian - penelitian di Indonesia juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti oleh Hardiyatmo (2010), Harahap (2018), Efendi (2019),

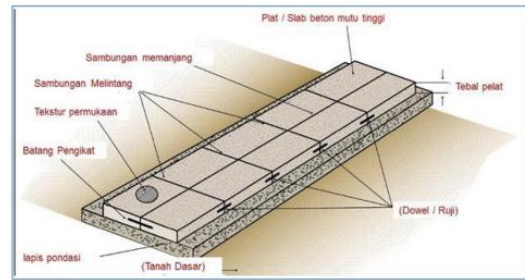
Radityasaka (2021), serta Abduh (2022). Kuswanda (2016) menjelaskan bahwa untuk menanggulangi problem pembangunan infrastruktur transportasi pada tanah lempung lunak, beberapa metoda perbaikan tanah yang tersedia adalah *preloading (with vertical drain)*, *electroosmosis*, *vacuum consolidation*, *lightweight fill*, *stone column*, *jet grouting*, *lime columns*, *fracture grouting*, *ground freezing*, *vitrification*, *electrokinetic treatment* dan *electroheating*.

Putra (2020) meneliti tentang Kerusakan Jalan Beton di Jln. Arifin Ahmad, kota Dumai, Riau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan jalan beton meliputi kerusakan plat dibagi, kerusakan tepi retak, kerusakan memanjang dan melintang, kerusakan tekuk, kerusakan patah dan ketahanan retak kerusakan. Bulan (2021) melakukan penelitian identifikasi kerusakan jalan perkerasan kaku untuk program preservasi jalan pada ruas Jalan Lombok yang terbentang pada salah satu kawasan industrial yang terletak di Jakarta Utara yaitu PT. KBN Persero (Kawasan Berikat Nusantara). Hasil penelitian ini menunjukan nilai / bobot jenis kerusakan sehingga dapat ditentukan urutan prioritasnya dengan penentuan perbaikan lapis perata, lapis pengisian celah retak dengan aspal, penambalan, dan pelapisan ulang tipis. Hartono (2021) melakukan penelitian terkait Kerusakan *Wet Lean concrete & Concrete Pavement* Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan Samarinda. Wasono (2019) menganalisis penyebab kerusakan perkerasan jalan beton di ruas Jalan Kaptan Darmo Sugondo Gresik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan jalan diakibatkan karena ketebalan dan mutu beton tidak sebanding dengan kendaraan berat yang melintas selama umur rencana.

## Perkerasan Kaku (*Rigid pavement*)

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah suatu perkerasan jalan yang menggunakan bahan ikat semen *Portland*, pelat beton dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi, dimana akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Perkerasan beton yang kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi dan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari slab beton itu sendiri (Pasaribu, 2021).

Hal yang paling penting dalam perencanaan *rigid pavement* adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perancangan perkerasan jalan beton semen *Portland* adalah kekuatan beton itu sendiri. Adanya beragam tanah dasar dan atau pondasi hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya (tebal pelat betonnya) (Pasaribu, 2021). Perkerasan kaku yang berupa pelat beton dilengkapi dengan beberapa sambungan, seperti sambungan susut melintang, sambungan memanjang, sambungan pelaksanaan serta sambungan muai. Masing – masing sambungan dan letaknya ditunjukkan pada Gambar 1 (Rahman, 2021).



**Gambar 1.** Tipe dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku

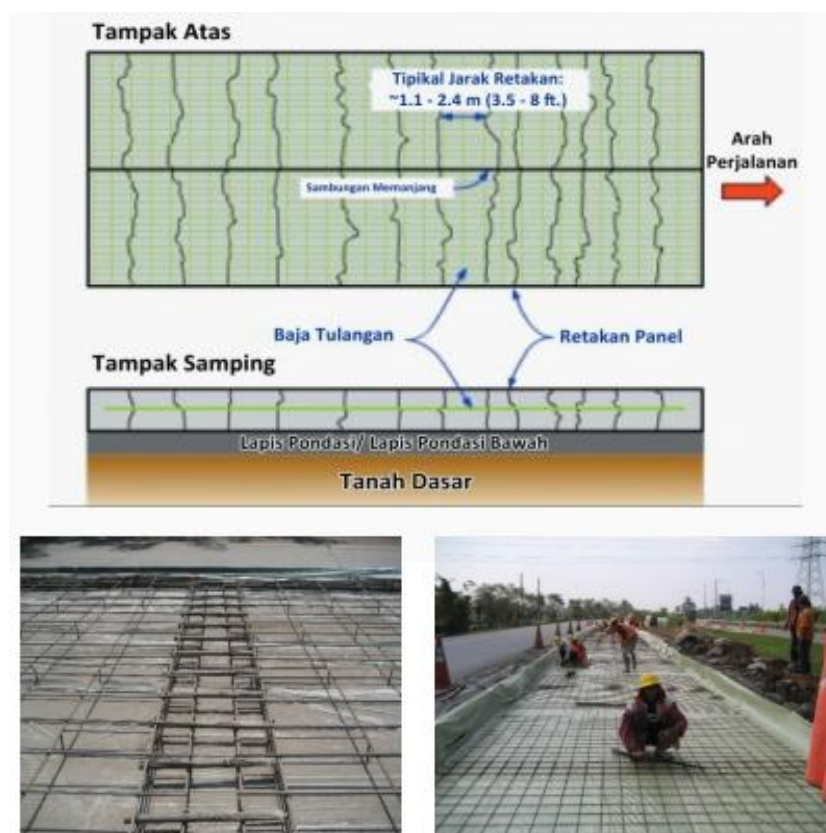
Ada beberapa tipe perkerasan kaku yang telah dikenal, akan tetapi ada dua hal yang paling penting. Pertama kekuatan terhadap beban lalu lintas yang dinyatakan dengan kuat tarik lentur dari beton. Jika penulangan digunakan, penulangan itu digunakan untuk mengontrol retak dan bukan untuk memikul beban lalu lintas. Hal yang kedua ialah bahwa perkerasan kaku menyusut akibat dari penyusutan beton itu sendiri sewaktu dalam proses mengeras, serta memuai dan menyusut akibat pengaruh temperatur, dan pergerakan ini harus diperhitungkan (Rahman, 2021). Jenis perkerasan kaku yang dikenal ada 5, yaitu:

1. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau “*jointed unreinforced (plain) Concrete Pavement*” (JPCP)
2. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau “*jointed reinforced Concrete Pavement*” (JRCP)
3. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau “*continuously reinforced Concrete Pavement*” (CRCP)
4. Perkerasan beton semen 'prategang' atau “*prestressed Concrete Pavement*”
5. Perkerasan beton semen pracetak (dengan dan tanpa prategang)

## Perkerasan Kaku Bersambung Dengan Tulangan Atau “*Jointed reinforced Concrete Pavement*” (JRCP)

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau JRCP serupa dengan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JPCP) kecuali ukuran pelat lebih panjang dan ada tambahan tulangan pada pelatnya. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m dan 12 m, meskipun ada juga yang jarak sambungannya sebesar 30 m. Pada pelat dan jarak sambungan yang lebih

panjang, ruji sangat disarankan karena bukaan sambungan akan menjadi lebih lebar dan agregat interlocking akan menjadi tidak efektif sebagai penyalur beban pada sambungan. Penulangan pada perkerasan kaku bersambung dengan tulangan bukan dimaksudkan untuk memikul beban secara struktural, tetapi untuk "memegang" retak agar tetap rapat, guna menjaga geser sepanjang bidang retakan sebagai penyalur beban tetap berfungsi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah.



**Gambar 2.** Perkerasan bersambung dengan tulangan (Rahman, 2021)

### METODE PENELITIAN

Data yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh dari sumber data dan survei lapangan yang dilakukan pada Pembangunan Jalan Tol XYZ. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 2 jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Penelitian dilakukan dengan mengacu pada langkah - langkah berikut:

1. Mencari dan melakukan studi literatur pada jurnal, buku atau penelitian terdahulu.
2. Mengumpulkan data - data berupa data sekunder yaitu data yang berasal dari dokumen perusahaan seperti data *work methode statement* (WMS), data penurunan timbunan dan data pengujian

lapangan (*Sand Cone*, CBR lapangan dan *proof rolling*) serta data sekunder dari studi kepustakaan buku atau jurnal. Sedangkan data primer berupa pengamatan langsung di lapangan.

- Menganalisis desain plat beton bertulang pada *rigid pavement*, terkait tipe dan lokasi sambungan pada perkerasan kaku berdasarkan data monitoring *settlement plate*. Analisis plat beton bertulangan tunggal pada Sta. 18+375 dengan menghitung kapasitas beton ( $M_u$ ).

$$M_u = \phi \times (0,85 \times f_c' \times b \times a) \times (d - a/2) \quad (1)$$

dan momen maksimumnya ( $M_a$ )

$$M_a = P \times l/2 \quad (2)$$

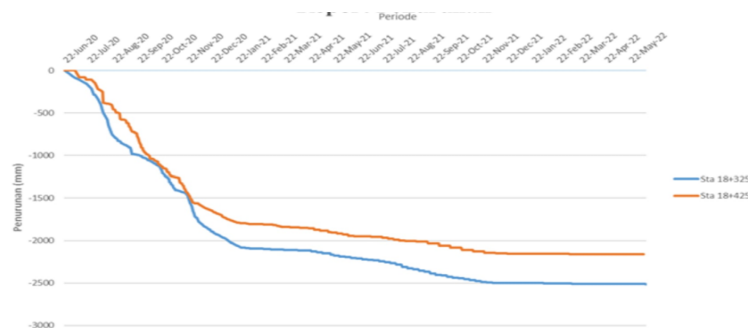
- Pembahasan mengenai faktor - faktor yang menyebabkan terjadinya keretakan *rigid pavement* di atas *box culvert* dengan perbaikan tanah menggunakan tiang pancang tersebut serta solusi untuk menjadi perbaikan metode dalam pekerjaan perkerasan kaku (*Rigid pavement*) di atas *box culvert*.

rawa yang umumnya memiliki kondisi tanah dasar yang bersifat sangat lunak. Permasalahan pada tanah lunak antara lain memiliki daya dukung tanah yang rendah, kembang susut yang tinggi, kandungan air yang tinggi, dan penurunan (*settlement*) yang besar jika diberi beban di atasnya. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser rendah dan suliter drainase karena permeabilitas tanah yang relatif rendah. Dengan demikian untuk menghindari waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi yang lebih lama dan ketidakstabilan timbunan yang terjadi, diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk dapat mengatasi permasalahan ini. Metode yang dipakai dalam proyek ini untuk mengatasi masalah pada tanah lunak tersebut adalah dengan menggunakan perkuatan geotextile dan suatu metode *preloading*. Selama pekerjaan *preloading*, pekerjaan monitoring perilaku tanah dilakukan selama jangka waktu yang ditentukan menggunakan *instrument settlement plate*. Monitoring yang dilakukan antara lain monitoring penurunan tanah, kemiringan lereng timbunan, penurunan muka air tanah dan pergerakan vertikal profil tanah. Data monitoring *settlement plate* pada Sta 18+325 dan Sta 18+425 dapat dilihat pada Gambar 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Penurunan Tanah

Jalan Tol XYZ kondisi lahan eksisting didominasi oleh sawah dan



**Gambar 3.** Grafik penurunan tanah dengan *instrument settlement plate*

Setelah pekerjaan unloading dilanjutkan dengan pekerjaan perkerasan timbunan *preloading*, pekerjaan jalan yang terdiri dari lapis *drainase*



layer, lean concrete dan pengecoran rigid pavement. Namun setelah pekerjaan perkerasan selesai, terjadi kerusakan berupa keretakan melintang

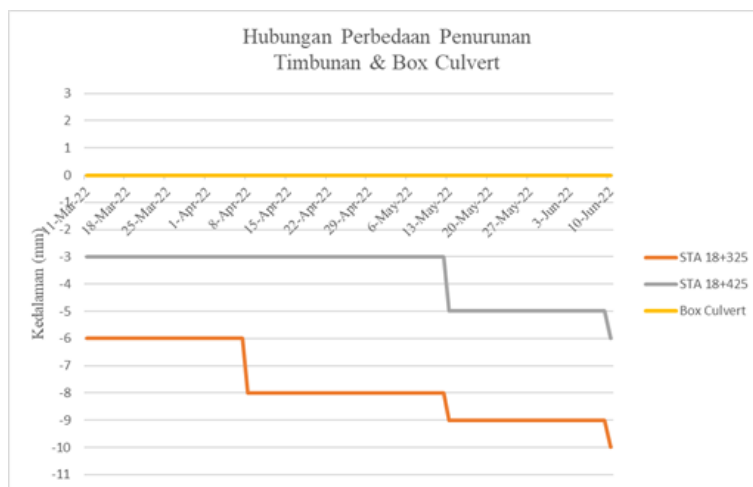
pada rigid pavement di atas box culvert dengan perbaikan tanah menggunakan tiang pancang pada Sta 18+375 yang dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Keretakan rigid pavement pada Sta 18+375

Untuk mengetahui penyebab keretakan tersebut dilakukan analisis untuk mencari perbedaan penurunan timbunan di sekitar box culvert dan analisis design rigid pavement. Data yang digunakan untuk mencari penurunan adalah data monitoring

settlement plate periode setelah pekerjaan pengecoran rigid pavement. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 mengenai perbedaan penurunan yang terjadi antara box culvert dan timbunan yang ada di sebelahnya.



**Gambar 5.** Data monitoring settlement plate setelah pekerjaan rigid pavement

*Box culvert* diasumsikan sudah tidak mengalami penurunan karena posisi *box culvert* yang telah dipancang, sehingga diasumsikan penurunannya sebesar 0 mm. Namun untuk timbunan di sekitarnya masih mengalami penurunan sebesar 6 mm untuk Sta. 18+425 dan 10 mm untuk Sta. 18+325 tercatat hingga tanggal 10 juni 2022 dan diperkirakan akan terus mengalami penurunan. Maka perbedaan penurunan yang terjadi pada timbunan dan *box culvert* Sta 18+375 itulah yang menyebabkan *rigid pavement* mengalami keretakan.

### **Analisis Kerusakan *Rigid pavement***

#### **Desain Plat Beton Bertulang**

Pada Sta 18+375, *rigid pavement* menggunakan tulangan *wiremesh* yang diletakkan pada daerah tekan sebagai tulangan tunggal seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah. Tulangan *wiremesh* tidak diletakkan pada daerah tarik beton karena plat beton bertulang diasumsikan tidak mengalami lendutan. Hal ini dikarenakan lapisan bawah plat beton yang terdiri dari tanah dasar, *drainage layer* dan *lean concrete* dianggap mampu menahan lendutan yang terjadi karena beban lalu lintas. Rencana perletakan tulangan *wiremesh* pada ketinggian 225 cm memiliki fungsi menahan gaya tekan yang timbul dari tanah yang telah terkonsolidasi 90%. Hal ini dilakukan karena masih dimungkinkan tanah tersebut mengalami kembang susut walaupun sedikit sehingga tulangan *wiremesh* diletakkan pada daerah tarik sebagai tulangan tunggal.

#### **Analisis Plat Beton Bertulang**

Dengan desain yang telah ada, kemudian dianalisis kekuatan plat beton bertulang tunggal yang berada di Sta. 18+375 dengan menghitung kapasitas beton ( $\mu$ ) berdasarkan persamaan (1) dan momen maksimum ( $M_a$ ) berdasarkan persamaan (2), diperoleh

hasil nilai  $M_a > \mu$ . Kapasitas beton ( $\mu$ ) memiliki nilai lebih kecil dari beban eksternal (berat beton sendiri) sehingga beton mengalami kerusakan (pecah / retak).

#### **Kesalahan Desain Pelaksanaan**

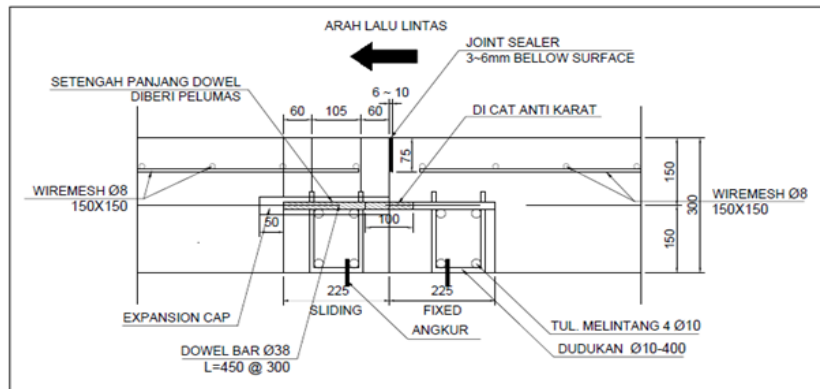
Tulangan *wiremesh* yang awalnya direncanakan diletakkan dengan ketinggian 225 cm pada shopdrawing, namun hanya terlaksana dengan ketinggian 150 cm di lapangan seperti pada Gambar 7 di bawah. Hal ini sangat bertolak belakang dengan tujuan awal penggunaan tulangan pada plat beton, yaitu untuk menahan gaya tarik yang timbul dari permukaan tanah dasar yang masih diasumsikan dapat mengembang dan susut kembali. Selain itu, posisi plat beton yang berada diantara *box culvert* dan timbunan yang masih mengalami penurunan dapat diasumsikan menjadi plat balok kantilever, karena plat beton hanya memiliki perletakan di salah satu ujungnya yaitu pada bagian plat di atas *box culvert*. Sedangkan pada plat beton yang berada pada timbunan tidak bertumpuan karena tanah dasarnya mengalami penurunan. Maka dari itu diasumsikan kesalahan desain perletakan tulangan *wiremesh* ini menjadi salah satu penyebab keretakan plat beton bertulang yang berada di atas *box culvert* Sta. 18+375.

#### **Desain Tulangan Beton dan *Wiremesh***

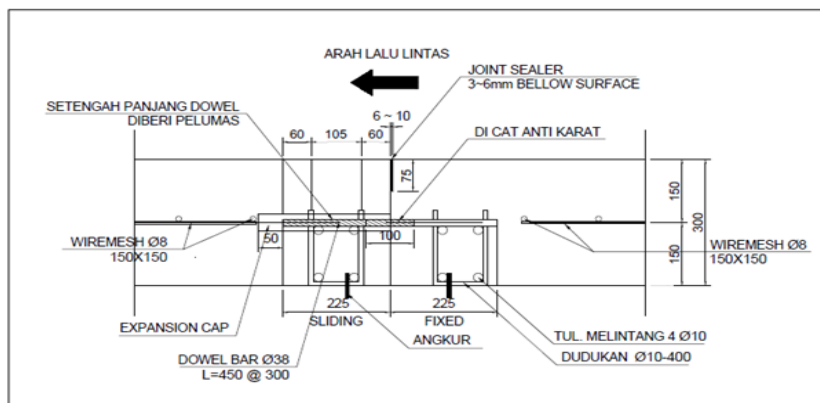
Plat beton bertulangan yang awalnya menggunakan tulangan tunggal, diubah menjadi tulangan ganda yang diletakkan pada daerah tarik dan tekan penampang beton. Desain tulangan ganda pada plat beton bertulangan dapat dilihat pada Gambar 8. Plat beton dengan tulangan ganda ini bertujuan agar mampu menahan gaya tekan yang timbul dari tanah dan gaya tekan yang timbul dari beban lalu lintas yang melewati plat beton walaupun diasumsikan plat beton

sudah kuat menahan gaya tekan yang ditimbulkan dari beban lalu lintas karena perkuatan lapisan perkerasan di bawahnya. Namun untuk menanggulangi kasus yang terjadi seperti di lokasi *box*

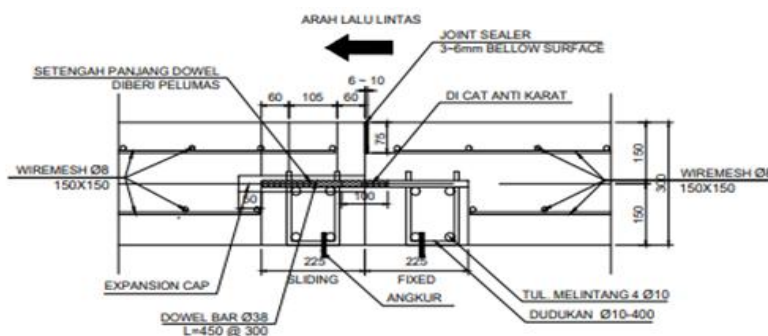
*culvert* Sta. 18+375, maka ditambahkan tulangan *wiremesh* pada daerah tarik beton agar jika terjadi penurunan tanah, plat beton masih mampu menahan beban tersebut.



Gambar 6. Desain rigid pavement di Sta. 18+375



Gambar 7. Perletakkan tulangan *wiremesh* saat pelaksanaan dilapangan



Gambar 8. Desain tulangan double *wiremesh*

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil analisis perbedaan penurunan timbunan dan analisis desain rigid pavement dapat

disimpulkan bahwa setelah pekerjaan rigid pavement selesai, masih terjadi penurunan ditimbunan sekitar *box culvert* sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan penurunan antara *box culvert* dan timbunan di sekitarnya.



Dari hasil analisis juga diketahui bahwa proses pengecoran *rigid pavement* dilakukan pada dua titik dimana setelah pengecoran, tanah dasar di bawahnya masih mengalami penurunan sebesar 10 mm dan 6 mm. Penurunan itu terjadi hingga 3 bulan dan menimbulkan keretakan struktur *rigid pavement* di atasnya. Hal ini terjadi karena perbedaan penurunan dari *box culvert* yang pada awalnya diasumsikan tidak mengalami penurunan kembali dengan tanah timbunan di sekitarnya yang masih mengalami penurunan. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa desain *rigid pavement* menggunakan tulangan tunggal sehingga kapasitas beton ( $\mu$ ) lebih kecil dari berat beton itu sendiri yang berakibat beton *rigid pavement* mengalami keretakan.

Penanganan perbaikan yang diusulkan adalah plat beton bertulangan yang awalnya menggunakan tulangan tunggal diubah menjadi tulangan ganda yang diletakkan pada daerah tarik dan tekan penampang beton. Plat beton dengan tulangan ganda ini bertujuan agar mampu menahan gaya tekan yang timbul dari tanah dan gaya tekan yang timbul dari beban lalu lintas yang melewatinya walaupun diasumsikan plat beton sudah kuat menahan gaya tekan yang ditimbulkan dari beban lalu lintas karena perkuatan lapisan perkerasan di bawahnya. Selain itu juga ditambahkan tulangan *wiremesh* pada daerah tarik beton agar jika terjadi penurunan tanah, plat beton masih mampu menahan beban tersebut.

### Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini diolah dari Laporan Tugas Akhir dengan studi kasus pada Proyek pembangunan Jalan Tol XYX. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada segenap pegawai dari proyek pembangunan Jalan Tol XYZ yang telah membimbing,

membantu dan mengizinkan penulis melakukan penelitian pada proyek tersebut.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, R.M. 2022. *Studi Kerusakan Dan Pendekatan Perbaikan Perkerasan Kaku (Rigid pavement) Jalan Tol Bakauheni Terbanggi Besar Pada Ruas Sidomulyo STA 39+400 – Kotabaru STA 80+000*. Tesis. Program Pascasarja Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Bulan, M.P., Aji Suraji, Agus Tugas Sudjianto. 2021. *Identifikasi Kerusakan Jalan Perkerasan Kaku Untuk Program Preservasi Jalan*. Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi Ke-24, Universitas Indonesia – Universitas Pembangunan Jaya, 4-6 November 2021
- Cascone, Ernesto and Giovanni Biondi. 2013. *A Case Study on Soil Settlements Induced by Preloading and Vertical Drains*. *Jurnal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 38 (2013) pp. 51-67, Department of Civil Engineering, University of Messina, Italy
- Dhokal, Nirmal, Mostafa A. Elseifi, Zhongjie Zhang. 2016. *Mitigation strategies for reflection cracking in rehabilitated pavements – A synthesis*. *International Journal of Pavement Research and Technology*, Vol. 9 (2016) pp. 228–239, Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, United States
- Efendi, Aflah Baihaqi, Indra Nurtjahtjaningtyas & Luthfi Amri Wicaksono. 2019. *Evaluasi*

- Penurunan Akhir Tanah Di Lapangan Menggunakan Metode Observasional: Asaoka Dan Hiperbolik Pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatera Selatan.* Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan Vol. 3, No. 1, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.
- Harahap, R.A. 2018. *Identifikasi Jenis Kerusakan Perkerasan Kaku (Rigid pavement) Pada Ruas Jalan Sisingamangaraja, Kota Medan.* Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
- Hardiyatmo, Harry C. 2010. *Mekanika Tanah 2.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hartono, J., Hinawan Teguh Santoso. 2021. *Kajian Kerusakan Wet Lean concrete & Concrete Pavement Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan Samarinda.* Jurnal ORBITH VOL. 17 NO. 2 Juli 2021 : 134 - 145
- Kuswanda, Wahyu P. 2016. *Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metode Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan.* Prosiding Seminar Nasional Geoteknik, Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.
- Pasaribu, H., & Manapar, T.S. 2021. *Hubungan Kekuatan Tanah Dasar Dengan Perkerasan Kakuk (Rigid Pavement).* Jurnal Teknik Sipil Vol.1, No.1, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen, Medan.
- Pranowo, G. 2020. *Dampak Tol Trans Jawa Terhadap Pergerakan Ekonomi Jawa Tengah.* Webinar Nasional Konektifitas Prasarana Jalan Untuk Kesejahteraan Bangsa, Kementerian PUPR, 21 Desember 2020
- Putra, S.A., Nuryasin Abdillah. 2020. *Analisa Kerusakan Jalan Beton (Studi Kasus Jalan Arifin Ahmad Kota Dumai).* Jurnal UNITEK. Vol. 13 No. 1 Januari – Juni 2020
- Radityasaka, J. 2021. *Analisis Kerusakan Perkerasan Kaku Dengan Metode Pavement Condition Index (PCI), Alternatif Solusi Dan Biaya Perbaikannya (Studi Kasus: Ruas Jalan Boyolali – Musuk STA 0+000 Sampai STA 3+800).* Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Rahman, H. 2021. *Konsep Dasar dan Aspek Material Perkerasan Kaku, Training & Workshop Persyaratan Mutu Struktur Perkerasan Kaku (Rigid pavement) Dan Aplikasi Di Lapangan.* INSPIRASI SIPODEM, 16 - 17 Nopember 2021
- Susiastzi, Heny, Masayu Widiastuti & Rusfiana Widyanti. 2020. *Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD).* Jurnal Teknologi Sipil Vol. 4, No. 1, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda.
- Tan, Siew Annand Soon Hoe Chew. 1996. *Comparison of the Hyperbolic and Asaoka Observational Method of Monitoring Consolidation with vertical drains.* Journal of Soils and Foundations Vol. 36, No. 3, pp. 31-42, Sept. 1996, Japanese Geotechnical Society
- Xiao, Danny X., and Zhong Wu. 2018. *Longitudinal Cracking of Jointed*

*Plain Concrete Pavements in Louisiana: Field Investigation and Numerical Simulation.* International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 11 (2018) pp. 417–426, University of Wisconsin-Platteville, Wisconsin 53818, USA

Wasono, S.B., Atik Wahyuni, Adhi Muhtadi. 2019. *Analisis Penyebab Kerusakan Perkerasan Jalan Beton di Ruas Jalan Kapten Darmo Sugondo Gresik.* Jurnal Aplikasi Teknik Sipil Volume 18, Nomor 2, Agustus 2019, Hal. 337 - 344.