

PERENCANAAN
**PERKERASAN KAKU
 DENGAN TULANGAN**

**PONDASI
 DAN
 TULANGAN
 PADA JALAN BETON
 DENGAN TULANGAN**

Terdapat lima bab dalam buku ini, di antaranya sebagai berikut:
 Bab 1 membahas mengenai definisi, fungsi, dan jenis-jenis pondasi pada jalan beton dengan tulangan. Bab 2 membahas mengenai definisi, fungsi, dan jenis-jenis tulangan pada jalan beton dengan tulangan. Bab 3 membahas mengenai definisi, fungsi, dan jenis-jenis pondasi pada jalan beton dengan tulangan. Bab 4 membahas mengenai definisi, fungsi, dan jenis-jenis tulangan pada jalan beton dengan tulangan. Bab 5 membahas mengenai definisi, fungsi, dan jenis-jenis pondasi pada jalan beton dengan tulangan.

Buku ini diharapkan dapat bermanfaat bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan. Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan.

Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan. Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan.

Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan. Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan.

Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan. Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik sipil dan praktisi di bidang perkerasan jalan beton dengan tulangan.



PERENCANAAN
**PERKERASAN KAKU
 DENGAN TULANGAN**

**PONDASI
 DAN
 TULANGAN
 PADA JALAN BETON
 DENGAN TULANGAN**





PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN TULANGAN

Pondasi dan Tulangan pada Jalan Beton dengan Tulangan

Furqon Affandi



INFORMATIKA
Bandung

**PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DENGAN TULANGAN
(Pondasi dan Tulangan pada Jalan Beton dengan Tulangan)**

Furqon Affandi
(Desember 2011)

Cetakan Ke-1, Desember 2011 (xiv + 74 Halaman)

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978 – 602 – 8758 – 61 – 1
Kode Kegiatan : 03 – PPK3 – 01 – 147 – 11
Kode Publikasi : IRE-TR-049/ST/2011
Kata Kunci : Pondasi, tulangan, pumping, stabilisasi, granular, bersambung dengan tulangan, menerus dengan tulangan.

Penulis :

Furqon Affandi, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Editor :

Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Kajian Perencanaan Perkerasan Kaku dengan Tulangan)

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun instruksi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.

4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristante, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, M.Sc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, M.T.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.



Kata Pengantar

Perkerasan beton di Indonesia relatif baru dibandingkan perkerasan jalan beraspal, sehingga panjang jalan beton sangat sedikit dibandingkan dengan panjang jalan aspal. Perkerasan beton yang paling banyak dilaksanakan di Indonesia ialah perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, padahal masih ada jenis perkerasan beton lainnya seperti perkerasan beton bertulang, pratekan, dan juga pracetak. Perkerasan beton dengan tulangan mulai dikembangkan di Indonesia, walaupun sampai saat ini jumlahnya masih sangat terbatas.

Untuk menunjang keberhasilan pengembangan dan pembangunan jalan beton khususnya jalan beton dengan tulangan diperlukan pemahaman parameter - parameter yang terkait dengan perencanaannya. Parameter tersebut di antaranya ialah lapisan pondasi dan penulangannya, yang mempunyai peran yang besar dalam perencanaan dan dalam menunjang keberhasilan suatu perkerasan beton yang baik.

Lapisan pondasi untuk jalan beton ini bermacam – macam mulai dari bahan berbutir sampai bahan yang distabilisasi dengan semen maupun aspal, dimana masing – masing jenis lapisan pondasi ini mempunyai keunggulan

dan kelemahan, apalagi dikaitkan dengan perkerasan beton dengan tulangan.

Penulangan pada jalan beton ini berbeda dengan penulangan pada konstruksi beton lainnya, baik dari cara kerja maupun fungsinya, sehingga pemahaman tentang tulangan untuk perkerasan jalan beton ini perlu difahami betul. Penulangan ini akan mempengaruhi kinerja perkerasannya sendiri, di mana tulangan yang tidak pas baik dalam jumlah maupun penempatannya akan memberikan kinerja yang tidak maksimal.

Naskah ilmiah ini merupakan salah satu kontribusi Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dalam penyediaan teknologi perencanaan perkerasan jalan beton dengan tulangan. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para praktisi, akademisi maupun pelaksana lapangan.

Bandung, Desember 2011



Furqon Affandi

Daftar Isi

| | |
|--|-------------|
| PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| | |
| 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 2. UMUM | 3 |
| 2.1 Perkerasan Beton | 3 |
| 2.1.1 Konstruksi Perkerasan Beton | 4 |
| 2.1.2 Jenis Perkerasan Beton..... | 4 |
| 3. LAPISAN PONDASI (SUBBASE) | 7 |
| 3.1 Fungsi Lapisan Pondasi..... | 7 |
| 3.2 <i>Pumping</i> | 8 |
| 3.3 Penggunaan Lapisan Pondasi (<i>Subbase</i>)..... | 10 |
| 3.4 Tipe Lapisan Pondasi (<i>Subbase</i>)..... | 13 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.4.1 | Lapisan Pondasi Berbutir Tanpa Stabilisasi | 13 |
| 3.4.1.1 | Lapisan Pondasi dan Pondasi Bawah (<i>Base dan Subbase</i>) dari Bahan Berbutir dengan Gradasi Rapat (<i>Dense Graded</i>)..... | 14 |
| 3.4.2 | Pondasi dengan Bahan Pengikat | 15 |
| 3.4.2.1 | Pondasi dengan Stabilisasi Aspal | 17 |
| 3.4.2.2 | Pondasi dari Stabilisasi Semen | 17 |
| 3.4.2.3 | Pondasi <i>Lean Concrete</i> | 18 |
| 3.4.3 | Pondasi Terbuka Permeable (<i>Open Graded Permeable Base</i>)..... | 19 |
| 3.5 | Penyalur Beban..... | 21 |
| 4. | PROSEDUR PERENCANAAN TULANGAN | 23 |
| 4.1 | Penulangan menurut Metode Austroad (Australia)..... | 24 |
| 4.1.1 | Penulangan pada Perkerasan Beton Bersambung dengan Tulangan | 24 |
| 4.1.2 | Penulangan pada Perkerasan Menerus dengan Tulangan | 26 |
| 4.2 | Penulangan menurut Metode AASHTO 1993..... | 29 |
| 4.2.1 | Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan (CRCP) | 30 |
| 4.2.2 | Penyusutan Beton | 31 |
| 4.2.3 | Koefisien Termal Beton | 32 |
| 4.2.4 | Ukuran Diameter Tulangan | 32 |
| 4.2.5 | Koefisien Termal Baja | 32 |
| 4.2.6 | Penurunan Temperatur Perencanaan (<i>Design Temperature Drop</i>) | 33 |
| 4.2.7 | Faktor Gesekan..... | 33 |
| 4.2.8 | Ketebalan Pelat..... | 33 |
| 4.3 | Penentuan Keperluan Tulangan | 34 |
| 4.3.1 | Jarak Retak..... | 38 |

| | | |
|-----------------------------|---|-----------|
| 4.3.2 | Lebar Retak..... | 39 |
| 4.3.3 | Tegangan pada Tulangan..... | 40 |
| 4.3.4 | Faktor Lain yang Mempengaruhi Kinerja CRCP | 41 |
| 4.4 | Kriteria Perencanaan | 41 |
| 4.4.1 | Kriteria Pembatasan Jarak Retak , Lebar Retak, dan Tegangan pada Tulangan..... | 41 |
| 4.4.2 | Sifat Beton | 42 |
| 4.4.3 | Koefisien Pemuaian Beton Akibat Panas..... | 43 |
| 4.4.4 | Susut Akibat Pengeringan (<i>Drying Shrinkage</i>)..... | 44 |
| 4.4.5 | Panas Hidrasi | 44 |
| 4.4.6 | Jenis dan Sifat Penulangan | 44 |
| 4.5 | Tulangan Memanjang..... | 45 |
| 4.5.1 | Jumlah Tulangan..... | 46 |
| 4.5.2 | Ukuran dan Jarak Tulangan | 48 |
| 4.5.3 | Posisi Vertikal dari Penulangan | 50 |
| 4.5.4 | Panjang Penyaluran (<i>Lap Slipes</i>)..... | 52 |
| 4.5.5 | Perlindungan terhadap Korosi..... | 54 |
| 4.6 | Penulangan Melintang | 54 |
| 4.6.1 | Ukuran dan Jarak Tulangan Melintang..... | 55 |
| 4.7 | <i>Tie Bars</i> (Ruji)..... | 57 |
| 4.8 | Dowel dan <i>Tie Bar</i> menurut Ketentuan Austroad..... | 59 |
| 4.9 | Sambungan..... | 60 |
| 4.9.1 | Sambungan Memanjang..... | 60 |
| 4.9.2 | Sambungan Pelaksanaan Melintang | 62 |
| 4.9.3 | Sambungan Transisi atau Sambungan Terminal ... | 63 |
| 4.9.3.1 | Angkur Balok Ujung (<i>Terminal End Achors</i>) | 63 |
| 4.9.3.2 | <i>Wide Flange Joints</i> | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 69 |



Daftar Tabel

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 3.1 | Kinerja perkerasan dan faktor pumping pada perkerasan beton tanpa <i>subbase</i> dan dengan <i>subbase</i> setebal 150 m | 12 |
| Tabel 3.2 | Persyaratan minimum lapisan pondasi untuk perkerasan beton | 16 |
| Tabel 3.3 | Tipikal nilai LS untuk berbagai tipe bahan | 20 |
| Tabel 3.4 | Koefisien Penyaluran Beban, untuk Berbagai Jenis Perkerasan Beton | 22 |
| Tabel 4.1 | Perkiraan nilai koefisien gesek | 25 |
| Tabel 4.2 | Faktor gesekan yang direkomendasikan | 30 |
| Tabel 4.3 | Hubungan antara susut dan kuat tarik tak langsung pada Beton | 31 |
| Tabel 4.4 | Nilai dari koefisien termal pada perkerasan beton sebagai fungsi tipe agregat..... | 32 |
| Tabel 4.5 | Tegangan kerja yang diizinkan, ksi (MPa) | 42 |
| Tabel 4.6 | Koefisien gesekan untuk berbagai bahan pondasi..... | 56 |
| Tabel 4.7 | Minimum Ukuran Diameter Dowel untuk Perkerasan Beton | 59 |
| Tabel 4.8 | <i>Wide Flange (WF) Beam</i> (berat dan ukuran)..... | 66 |



Daftar Gambar

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Konstruksi perkerasan beton dan perkerasan beraspal | 4 |
| Gambar 3.1 | Kerusakan pumping pada perkerasan beton | 8 |
| Gambar 3.2 | Mekanisme terjadinya <i>pumping</i> | 9 |
| Gambar 3.3 | Kerusakan akibat <i>pumping</i> | 9 |
| Gambar 4.1 | Grafik penentuan keperluan tulangan melintang..... | 35 |
| Gambar 4.2 | Grafik penentuan tulangan memanjang berdasarkan kriteria jarak retak..... | 36 |
| Gambar 4.3 | Grafik penentuan tulangan memanjang minimum berdasarkan kekuatan baja..... | 36 |
| Gambar 4.4 | Grafik penentuan tulangan memanjang minimum berdasarkan lebar retak..... | 37 |
| Gambar 4.5 | Konsep perencanaan tulangan pada CRCP | 46 |
| Gambar 4.6 | Rekomendasi jarak penulangan | 49 |
| Gambar 4.7 | Penulangan dua lapis | 51 |
| Gambar 4.8 | Tipikal pola sambungan baja dengan sistem miring (melintang perkerasan)..... | 53 |
| Gambar 4.9 | Grafik penentuan jarak ruji (<i>Tie bar</i> untuk diameter ruji $\frac{1}{2}$ " dan $\frac{5}{8}$ ")..... | 59 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.10 | Metode sambungan memanjang yang disarankan..... | 61 |
| Gambar 4.11 | Metode sambungan memanjang yang tidak disarankan | 61 |
| Gambar 4.12 | Sambungan melintang | 62 |
| Gambar 4.13 | Gambar rinci dari <i>terminal end anchor</i> (angkur balok ujung - Inggris)..... | 64 |
| Gambar 4.14 | Gambar rinci dari <i>terminal end anchor</i> (angkur balok ujung – Belanda)..... | 65 |
| Gambar 4.15 | Gambar rinci dari sambungan <i>Wide Flange</i> | 66 |



1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seringkali kerusakan perkerasan beton dikaitkan erat dengan sistim pelaksanaannya. Namun, disamping itu para pelaksana perkerasan beton seringkali kurang perhatian pada dasar dasar perencanaan, yang seharusnya dipahami oleh setiap para pelaksana sebelum pekerjaan pelaksanaan jalan beton itu dimulai. Hal lain yang kita lihat ialah para insinyur sipil cukup familier dengan penulangan untuk konstruksi bangunan atau jembatan, namun pelatihan yang berkaitan dengan penulangan pada perkerasan jalan beton sangat jarang. Hal ini bisa dimaklumi, karena perkerasan jalan beton di Indonesia relatif baru dibandingkan dengan perkerasan jalan aspal, di samping jenis perkerasan beton bertulang itu sendiri di Indonesia penggunaannya sangat sedikit sekali. Perlu dipahami oleh kita semua bahwa sistim perencanaan untuk struktur beton dengan tulangan sangat berbeda dengan perencanaan perkerasan beton dengan tulangan. Selain masalah penulangan, yang perlu dipahami lainnya ialah pondasi dari jalan beton tersebut, karena pondasi pada jalan beton mempunyai pengaruh yang besar terhadap konstruksi perkerasan beton itu sendiri, terlebih pada perkerasan beton dengan tulangan.

Perkerasan jalan beton mempunyai beberapa jenis, seperti perkerasan beton bersambung tanpa tulangan yang paling banyak dilaksanakan di Indonesia, perkerasan beton bersambung dengan tulangan, perkerasan beton menerus dengan tulangan dan juga perkerasan beton pracetak atau pracetak prategang.

Di luar negeri penggunaan perkerasan beton dengan tulangan ini sudah banyak dipergunakan, seperti di Thailand, Inggris, Belanda, dan Eropa Barat (Geoffrey Griffiths and Nick Thom 2007). Selanjutnya Geoffrey Griffiths and Nick Thom (2007) menyampaikan pengalaman dari beberapa negara yang telah menggunakan perkerasan beton dengan tulangan, di mana perkerasan jenis ini menunjukkan tidak sensitif terhadap kekuatan tanah dasar yang rendah, deformasi, pengaruh permukaan air dan beban lalu lintas berat serta mempunyai kinerja yang lebih baik dibanding dengan perkerasan bersambung tanpa tulangan, seperti yang ditunjukkan di Bangkok . Selain itu, pengalaman di Negara Eropa Barat menunjukkan pula bahwa perkerasan tipe ini tidak begitu sensitif terhadap penyimpangan kualitas pengerjaan dan kemampuan tenaga yang kurang terlatih. Hal tersebut bukan berarti perkerasan beton dengan tulangan ini boleh dilaksanakan dengan cara yang tidak memenuhi ketentuan teknis yang disyaratkan, tetapi akan mempunyai kinerja yang lebih baik bila dilaksanakan dengan cara yang sesuai dengan ketentuan teknis yang ditentukan.

2

UMUM

2.1 Perkerasan Beton

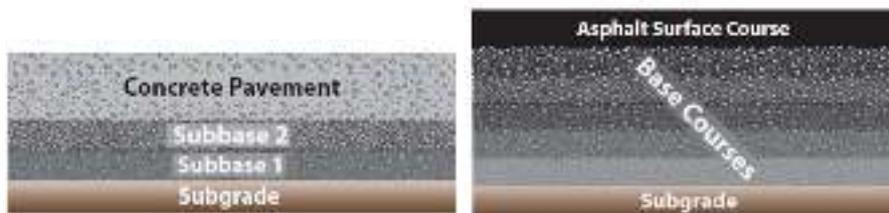
Perkerasan beton ialah perkerasan dengan bahan pengikat semen, dengan mutu beton cukup tinggi yaitu kuat tekan sekitar 400 kg/cm^2 . Tapi umumnya mutu beton untuk perencanaan perkerasan jalan dinyatakan dengan kuat tarik lenturnya (*flexural Strength*) sebesar $40 - 45 \text{ kg / cm}^2$.

Susunan konstruksi perkerasan beton mempunyai beberapa perbedaan dibandingkan dengan konstruksi perkerasan jalan aspal, seperti:

- Jumlah dan susunan lapisan
- Sistem dalam distribusi beban
- Adanya sambungan melintang dan memanjang khususnya pada perkerasan beton bersambung.
- Pelat beton yang jauh lebih kaku dibandingkan campuran beraspal, yang ditunjukkan dengan modulus beton sekitar 10 kali lebih besar dari kekakuan campuran beraspal.

2.1.1 Konstruksi Perkerasan Beton

Konstruksi perkerasan beton ini berbeda dengan konstruksi perkerasan aspal, di mana pada perkerasan beton umumnya terdiri dari dua lapis, yaitu lapisan pondasi (*subbase*) dan pelat beton, terkadang hanya satu lapis saja, yaitu pelat beton yang langsung diletakkan di atas lapisan tanah dasar (bila tanah dasarnya baik). Sedangkan pada perkerasan jalan beraspal, umumnya jumlah lapisannya ada tiga lapis, yaitu lapisan pondasi bawah (*subbase*), lapisan pondasi dan lapisan permukaan (lapisan aspal). Konstruksi perkerasan beton dan perkerasan aspal ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Konstruksi perkerasan beton dan perkerasan beraspal

Pelat beton yang mempunyai kekakuan yang sangat tinggi, akan menyebarkan beban dari roda kendaraan ke bidang di bawahnya yang lebih luas, sehingga tegangan yang terjadi pada lapisan pondasi menjadi kecil.

2.1.2 Jenis Perkerasan Beton

Perkerasan beton terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

1. Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan
2. Perkerasan beton bersambung dengan tulangan
3. Perkerasan beton menerus dengan tulangan
4. Perkerasan beton pracetak
5. Perkerasan pratekan dan pratekan pracetak

Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, mempunyai jarak sambungan melintang sekitar 4,5 meter, sedangkan untuk beton bersambung dengan tulangan jarak sambungan melintangnya bervariasi antara 8 – 15 meter (Austroad 2002). Ada juga institusi yang membagi dua tipe dari perkerasan bersambung dengan tulangan, yaitu bersambung dengan tulangan berjarak pendek dan perkerasan bersambung dengan tulangan berjarak panjang. Untuk mendapatkan penyaluran beban yang baik antar sambungan pelat yang satu dengan yang disebelahnya biasanya dipasang batang penyalur beban (dowel).

Perkerasan beton menerus dengan tulangan, ialah perkerasan yang direncanakan dan dilaksanakan tanpa “sambungan”, di mana pengecoran dilaksanakan sepanjang mungkin sesuai kemampuan pelaksana setiap harinya. Pelaksanaan pada hari berikutnya dimulai dari bagian akhir pekerjaan sebelumnya tanpa dipasang batang penyalur beban (dowel), tetapi dipasang besi tambahan pada sambungan tersebut.

Perkerasan beton pra cetak, ialah perkerasan di mana pelat beton dicetak terlebih dahulu di luar lokasi proyek, dan selanjutnya setelah kekuatannya cukup diangkut dan dipasang di lokasi proyek. Keuntungan dari jenis ini, ialah pengendalian mutu pembuatan pelat bisa lebih baik serta pemasangannya di lapangan akan lebih cepat, namun memerlukan peralatan pengangkut yang memadai seperti *trailer* dan juga bentuk pondasi yang sangat rata untuk mencegah terjadinya rongga di bawah pelat.



3

LAPISAN PONDASI (*SUBBASE*)

3.1 Fungsi Lapisan Pondasi

Lapisan pondasi memberikan keuntungan pada segi perencanaan dan juga pada saat pelaksanaan. Dari sisi perencanaan, fungsi utama dari lapisan pondasi ialah untuk mencegah *pumping* dari butiran halus tanah. Sedangkan dari sisi pelaksanaan, fungsi lapisan pondasi ialah untuk menyediakan lantai kerja yang stabil untuk alat alat selama pelaksanaan, sehingga pelaksana bisa membuat perkerasan yang lebih rata serta tebal yang seragam dari pada bila dilaksanakan di atas tanah dasar.

Keuntungan lainnya dari lapisan pondasi ialah bisa membantu mengontrol perubahan volume pada tanah ekspansif, akan tetapi hal ini akan lebih efektif dan ekonomis diatasi dengan cara penanganan lapisan tanah dasar yang baik. Lapisan pondasi juga bisa berfungsi sebagai lapisan drainase; akan tetapi bila hal ini dilaksanakan, maka harus diusahakan adanya keseimbangan antara fungsi drainase dan stabilitas.

3.2 Pumping

Pumping ialah perpindahan dari campuran butiran tanah dan air melalui sambungan pelat, retak dan tepi perkerasan. *Pumping* yang terus menerus dan tidak terkontrol akan banyak memindahkan butiran halus tanah sehingga akan terjadi kehilangan daya dukung, menjadikan sudut dan tepi pelat tidak mempunyai tahanan. Ketidakteraturan daya dukung seringkali menghasilkan retak dini di bagian sudut pelat dan ketidakrataan perkerasan, umumnya *faulting* pada sambungan melintang.

Dalam keadaan yang sudah parah, beban dari roda kendaraan akan menyebabkan pelat melendut sehingga akan memompakan air dan butiran halus tanah melalui sambungan ke permukaan perkerasan, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Kerusakan *pumping* pada perkerasan beton

Studi yang telah dilakukan oleh *department of transport* dan *Portland Cement Association* pada tahun 1930 an dan tahun 1940 an menentukan faktor – faktor dasar yang menjadikan terjadinya *pumping*. Hal–hal yang harus ada yang bisa menjadikan terjadinya *pumping*:

1. Pergerakan kendaraan yang cepat, beban yang berat sehingga pelat bisa melendut (misal truk bukan kendaraan penumpang)
2. Sambungan tanpa dowel atau sambungan dengan penyalur beban yang tidak baik.

3. Adanya air antara perkerasan dengan tanah dasar (*subgrade*) atau *subbase* (lapisan pondasi)
4. Butiran halus dari tanah dasar atau lapisan pondasi yang mudah tereosi.



Gambar 3.2 Mekanisme terjadinya *pumping*

Gambar 3.2 menggambarkan mekanisme dari *pumping*. Pertama – tama ketika beban roda menekan “pelat yang ditinggalkan” (*leave – slab*) ke bawah sewaktu akan menuju sambungan atau retak. Ketika beban roda melewati sambungan melintang, “pelat yang ditinggalkan” segera balik kembali keatas dengan cepat dan “pelat yang dituju” (*approach slab*) ditekan ke bawah dengan cepat, menyebabkan perbedaan defleksi yang cepat pada sambungan atau retak. Perbedaan defleksi yang cepat menekan air dan butiran tanah dari bagian bawah dari pelat yang dituju ke arah pelat yang ditinggalkan dan menyebabkan campuran butiran tanah dan air ke luar dari bawah pelat. Setelah beribu – ribu lintasan roda kendaraan berat, maka rongga akan terjadi di bawah pelat, menyebabkan ketidakrataan daya dukung. Kerusakan yang paling banyak akibat dari kejadian itu ialah pecahnya pelat di bagian sudut dan faulting pada sambungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kerusakan akibat *pumping*.

Tanah dasar yang paling rentan terhadap pumping, ialah tanah yang berplastisitas tinggi dan lempung. Bahan lapisan pondasi yang tidak distabilisasi (bahan berbutir – granular) yang rentan terhadap *pumping*, umumnya ialah material yang ukuran lolos no 200 (75 μm) lebih besar dari 15%. *Pumping* bisa dihindari dengan menggunakan bahan tahan erosi atau pondasi yang distabilisasi. Pondasi berbutir yang tidak distabilisasi yang sesuai dengan persyaratan AASHTO M155 akan mencegah *pumping* secara efektif pada perkerasan yang dilalui beban lalu lintas berat, bila unsur unsur lainnya direncanakan dengan baik.

Pengalaman menunjukkan bahwa faktor perencanaan yang paling berpengaruh untuk mencegah pumping ialah penggunaan dowel pada sambungan melintang. Akan tetapi, sangat disarankan untuk melakukan setiap langkah yang bisa mencegah *pumping*. Penggunaan *subbase* dengan gradasi yang baik (tanpa atau dengan stabilisasi) akan menghilangkan butiran halus pada tanah yang akan menjadi larutan (*suspension*), sedangkan penggunaan dowel akan mengeliminasi perbedaan deferensial lendutan yang cepat akibat seringnya lintasan beban roda yang berat. Kombinasi dari strategi untuk mengeliminasi pumping ini seringkali digunakan sebab ini akan mengisolasi dua factor utama yang menyebabkan *pumping* dengan cara yang mudah dalam sisi perencanaan.

3.3 Penggunaan Lapisan Pondasi (*Subbase*)

Lapisan *subbase* merupakan elemen yang diperlukan pada perencanaan perkerasan beton untuk jalan utama dengan beban berat, khususnya yang memikul beban lalu lintas dengan jumlah truk yang besar.

Perkerasan untuk lalu lintas berat dengan pergerakan yang lambat, atau beban lalu lintas ringan seperti jalan–jalan lingkungan, jalan–jalan sekunder, area parkir, dan jalan untuk mobil penumpang dengan kecepatan tinggi adalah tidak rentan terhadap terjadinya pumping. Lapisan *subbase* tidak

menjamin proteksi terhadap pumping didalam beberapa hal sebab subbase ini tidak ditujukan untuk lendutan perkerasan serta lendutan baliknya akibat kecepatan tinggi, akibat beban kendaraan berat. Khususnya ada beberapa pengecualian dari penggunaan subbase guna mencegah pumping: **Lalu lintas** – perkerasan yang diperkirakan akan memikul beban lalu lintas truk lebih kecil dari 200 per hari tidak memerlukan subbase untuk mencegah pumping. Begitu juga perkerasan yang diperkirakan akan memikul beban lalu lintas lebih kecil dari 1000000 ESAL 18 kip (80 kN) sepanjang umur rencananya, tidak memerlukan subbase (lapisan pondasi).

Drainase alami – Tanah dasar yang dalam keadaan aslinya bisa mengalirkan air, umumnya tidak akan mengalami pumping sebab air meresap ke tanah dasar dan tidak tinggal dibawah perkerasan yang bisa menyebabkan butiran halus tersuspensi. Perkerasan mungkin dibangun langsung diatas tanah dasar asli yang mempunyai sifat seperti diatas, sepanjang factor factor lainnya cukup baik, misalnya faktor pengembangan tanah bisa diatasi.

Tanah dasar yang baik – tanah dasar dengan jumlah butiran yang lolos saringan no 200 (0,075 mm) lebih kecil dari 45% serta PI 6 atau lebih kecil, dipandang cukup baik untuk melayani lalu lintas dengan jumlah truk termasuk medium tanpa diberi lapisan subbase. Dalam hal ini disarankan dipasang dowel pada sambungan – walaupun tebal pelatnya lebih kecil dari 200 mm guna mencegah perbedaan lendutan pada sambungan pelat.

Perencanaan dengan membuat tebal pelat lebih besar, tidak efektif guna mencegah pumping. Tanpa penanganan yang baik, walaupun pelat dipertebal pumping tetap akan terjadi, jika faktor penyebabnya tetap masih ada. Lapis pondasi (Subbase) yang tahan erosi serta pemasangan dowel pada sambungan melintang sangat diperlukan untuk perkerasan yang akan melayani lalu lintas berat.

Tabel 3.1 memberikan data tingkat pelayanan dan faktor pumping dari jalan percobaan AASHTO tanpa dan dengan subbase 150 mm. Pada data ini,

segmen no 2 dan 3 adalah tipikal perkerasan untuk jalan perkotaan, jalan kabupaten dan jalan raya dengan lalu lintas ringan. Bisa dilihat dari tabel 3.1 tersebut, untuk perkerasan yang melayani lalu lintas ringan, perkerasan tanpa subbase memberikan kinerja yang sama seperti perkerasan dengan subbase. Tabel 3.1 juga memperlihatkan bahwa subbase dengan tebal 150 mm memberikan pencegahan terhadap pumping untuk lalu lintas berat.

Tabel 3.1 Kinerja perkerasan dan faktor pumping pada perkerasan beton tanpa subbase dan dengan subbase setebal 150 mm

| No Segmen | Tipe sumbu | Beban Sumbu (kN) | Tebal Pelat (mm) | Tebal subbase (mm) | P pada akhir pengujian | Repetisi pada P = 1,5 (in 1000s) | Faktor pumping ¹ |
|----------------|------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 2 ² | Single | 9 | 130 | 0 150 | 4,1 4,1 | - - | 0 0 |
| 2 | Single | 27 | 130 | 0 150 | 4,1 4,0 | - - | 0 0 |
| 3 ³ | Single | 53 | 165 | 0 150 | 4,2 4,1 | - - | 0 0 |
| 4 | Single | 80 | 200 | 0 150 | 4,5 4,4 | - - | 0 0 |
| 5 | Single | 100 | 240 | 0 150 | 3,9 3,7 | - - | 25 15 |
| 6 | Single | 130 | 280 | 0 150 | 4,2 4,2 | - - | 0 0 |
| 3 ³ | Tandem | 110 | 165 | 0 150 | 4,0 4,1 | - - | 0 0 |
| 4 | Tandem | 140 | 200 | 0 150 | 2,4 4,2 | - - | 100 12 |
| 5 | Tandem | 180 | 240 | | - 4,0 | 658 - | 907 148 |
| 6 | Tandem | 210 | 280 | | - 43 | 907 - | 925 0 |

Pentingnya dari penggunaan subbase ialah untuk mendapatkan kemudahan dalam pelaksanaan perkerasan tersebut. Subbase akan menyediakan lajur yang stabil untuk roda alat penghampar dan juga memberikan alas yang stabil untuk acuan tetap. Lebar lajur untuk jejak roda dari mesin penghampar sekitar 1 m pada masing - masing sisi. Banyak agensi di bidang jalan yang menyadari manfaat dari track kendaraan yang stabil, karena itu banyak yang menyarankan untuk memperlebar lapisan pondasi (subbase). Pelebaran lapisan pondasi diluar perkerasan juga akan memberikan

kontribusi sebagai dukungan samping, yang akan mengurangi tegangan tepi dan mencegah penurunan dari bahu jalan atau kurb.

3.4 Tipe Lapisan Pondasi (*Subbase*)

Beberapa tipe lapisan pondasi yang telah di gunakan dan memberikan kinerja yang memuaskan ialah:

- Lapisan pondasi dari bahan berbutir(tanpa stabilisasi).
- Lapisan pondasi yang distabilisasi, yang termasuk:
 - Lapisan pondasi yang distabilisasi semen (*Cement treated subbase* atau *lean concrete*)
 - *Asphalt Treated subbase* (ATB)

Lapisan pondasi akan berfungsi dengan baik, bila mempertimbangkan hal

– hal sebagai berikut:

- Pemilihan bahan lapisan pondasi serta kombinasinya dengan lapisan lainnya yang akan mencegah pumping dari tanah dasar sepanjang umur perkerasan tersebut.
- Pemilihan bahan lapisan pondasi yang tahan terhadap lendutan akibat beban lalu lintas, dan tetap stabil sepanjang umur jalan.
- Penanganan permukaan lapisan pondasi agar tidak terjadi gesekan yang terlalu besar atau ikatan antara permukaan lapisan pondasi dan pelat beton.
- Harus dijamin agar gradasi agregat sepanjang proyek seragam sesuai persyaratan yang ditentukan
- Pembuatan lapisan pondasi harus menghasilkan ketebalan yang seragam dan juga rata.

3.4.1 Lapisan Pondasi Berbutir Tanpa Stabilisasi

Pondasi yang tidak distabilisasi (pondasi dari material berbutir) merupakan jenis lapisan pondasi yang paling umum digunakan pada jalan perkotaan,

dan jalan raya. Jenis bahan yang telah terbukti berkinerja baik ialah batu pecah, *bank run sand gravel*, pasir, tanah distabilisasi *gravel*, *slag* atau slag pecah dan bahan lokal. Bila direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, pondasi yang tidak distabilisasi merupakan lapisan yang baik untuk perkerasan kaku pada semua kelas jalan dan jalan raya. Keuntungan utama dari bahan ini ialah biayanya yang rendah bila dibandingkan dengan bahan yang distabilisasi.

3.4.1.1 Lapisan Pondasi dan Pondasi Bawah (*Base dan Subbase*) dari Bahan Berbutir dengan Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Material berbutir dengan gradasi rapat dan plastisitas rendah telah berhasil digunakan sebagai lapisan pondasi dan pondasi bawah pada perkerasan menerus dengan tulangan (*Continous Reinforced Concrete Pavement – CRCP*). Guna meminimalkan pengaruh konsolidasi dan penurunan (*settlement*) diperlukan pemadatan yang mencapai 95 sampai 100% dari AASHTO T 180. Kehati-hatian perlu dilakukan sewaktu pelaksanaan, begitu juga masalah agregat halus untuk mencegah segregasi dan meminimalkan kehilangan derajat kepadatan dan keseragaman. Hal hal tersebut bisa menghasilkan kehilangan daya dukung dan selanjutnya keruntuhan pada CRCP.

Perlu dicatat, bahwa beberapa agensi telah mendapat permasalahan yang serius dengan masalah pumping dan kehilangan daya dukung dengan material berbutir tanpa bahan pengikat (*unbound*), walaupun tanah dasarnya kuat dan kering. Penggunaan pondasi material berbutir tanpa bahan pengikat pada CRCP akan menghasilkan jarak retakan yang lebih panjang, untuk jumlah penulangan yang sama. Hal ini bisa menyebabkan masalah yang serius pada jarak retakan untuk tingkat kerusakan retakan dan perkembangan *punchout* yang sama. Hal ini bisa diatasi dengan menaikkan jumlah tulangan yang dipergunakan.

Karena umumnya CRCP digunakan untuk lalu lintas berat, hampir semua agensi memakai pondasi yang distabilisasi guna mengurangi erosi dan kehilangan daya dukung, dan kecuali untuk lapisan pondasi bawah (*subbase*) dari bahan berbutir tanpa pengikat. Kombinasi ini telah membantu pelaksanaan serta memberikan lapisan pondasi yang seragam yang diperlukan untuk jangka panjang dan kualitas kinerja yang tinggi.

3.4.2 Pondasi dengan Bahan Pengikat

Di Australia hanya beton kurus (*lean concrete*) atau bahan pondasi yang menggunakan bahan pengikat yang disarankan untuk pondasi jalan beton, guna mendapatkan ketahanan yang baik terhadap erosi dari bahan lapisan pondasi akibat beban lalu lintas dan kondisi lingkungan.

Sedangkan lapisan pondasi yang disarankan, ialah pondasi dari jenis yang menggunakan bahan pengikat atau beton kurus (*lean concrete*), dengan beberapa alasan sebagai berikut:

- Untuk menahan erosi dari lapisan subbase dan membatasi pumping pada sambungan dan tepi pelat
- Untuk memberikan daya dukung yang seragam dibawah perkerasan
- Untuk mengurangi lendutan pada sambungan dan meningkatkan penyalur beban pada sambungan
- Untuk membantu mengendalikan kembang susut dari tanah dasar yang mempunyai perubahan volume yang besar.

Jenis pondasi dengan bahan pengikat yang disarankan, bisa salah satu dari: bahan batu pecah yang distabilisasi semen dengan kadar tidak kurang dari 5%, guna menjamin ketahanan erosi; bahan pengikat yang bersifat sementitious bisa semen, kapur/*fly ash* dan atau *slag*. Campuran beraspal bergradasi rapat, *Rolled lean concrete* yang mempunyai kuat karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa.

Lean mix concrete (LMC) mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari, tidak kurang dari 5 MPa dan direncanakan mempunyai penyusutan yang rendah, umumnya kurang dari 450 *microstrain*.

Pada sambungan memanjang, sambungan pada lapisan pondasi dibuat bergeser sekitar 10 dan 40 cm dari sambungan memanjang pada pelat guna untuk mencegah retak refleksi. Pengalaman di Australia, menunjukkan bahwa *Lean Mix Concrete* (LMC) mempunyai kinerja yang baik pada perkerasan bersambung tanpa tulangan yang tidak menggunakan dowel.

Penentuan tebal dari jenis lapisan pondasi diberikan pada Tabel 3.2 dibawah ini, berdasarkan lalu lintas rencananya.

Tabel 3.2 Persyaratan minimum lapisan pondasi untuk perkerasan beton

| Lalu lintas rencana (<i>Heavy Vehicle Axle Group</i>) | Tipe lapisan pondasi |
|---|--|
| Sampai 10^6 | 125 mm berbahan pengikat |
| Sampai 5×10^6 | 150 mm berbahan pengikat atau 125 mm LMC |
| Sampai 10^7 | 170 mm berbahan pengikat atau 125 mm LMC |
| Lebih besar dari 10^7 | 150 mm LMC* |

* Pada beton menerus dengan tulangan, lapisan pondasi dengan bahan pengikat yang kuat dan lapisan aus dari campuran beraspal merupakan suatu alternatif yang bisa diterima.

Untuk perencanaan perkerasan beton, kekuatan *subgrade* dinyatakan dengan CBR yang mempunyai nilai minimum 5%. Untuk keperluan perencanaan, semua bahan yang berada satu meter di bawah lapisan pondasi harus dinilai guna menentukan CBR perencanaan. Dengan kata lain, tidak diperbolehkan mengambil nilai CBR dari lapisan yang tipis tetapi kuat, langsung di bawah lapisan pondasi. Kedalaman bahan *subgrade* terpilih di bawah lapisan pondasi, harus dinaikkan sampai 600 mm di atas tanah dasar ekspansif. Selanjutnya perlu dihitung kekuatan tanah dasar efektif, yang telah mempertimbangkan adanya lapisan pondasi.

3.4.2.1 Pondasi dengan Stabilisasi Aspal

Pondasi dengan stabilisasi aspal, telah menunjukkan bisa menaikkan kinerja CRCP, di mana campuran beraspal harus direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, meliputi kadar aspalnya, kepadatan dan parameter campuran beraspal lainnya harus dipenuhi sebagaimana yang direncanakan. Keuntungan utama dari jenis ini, termasuk meminimalkan kehilangan daya dukung akibat kadar air, memberikan lantai kerja yang rata dan meningkatkan tingkat kenyamanan yang baik, serta memberikan gesekan (*friction*) yang baik bagi CRCP dengan jarak retak yang layak, dan mengurangi tegangan saat *curling* dan *warping* (melenting).

Hal lain yang harus diperhatikan pada penggunaan satbilisasi aspal di sini, ialah masalah *striping*, yaitu lepasnya ikatan antara aspal dan agregat akibat air. Bila muka air tinggi, maka perlu dipertimbangkan penggunaan bahan tambah yang memadai.

3.4.2.2 Pondasi dari Stabilisasi Semen

Lapisan pondasi dengan *treated cement* (*cement treated base*), umumnya dicampur di pugmil dengan kadar semen sekitar 5% untuk mencapai kuat tekan pada umur 7 hari sebesar 500 psi (3.5 MPa) dengan kadar air 1 sampai 2% dibawah kadar air optimum. Pondasi dengan *treated cement* ini kuat dan tahan erosi serta sangat efektif untuk memperbaiki kinerja perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP) dan telah terbukti berhasil dengan baik di daerah dengan muka air tanah yang tinggi. Beberapa masalah erosi dan kerusakan pada lapisan pondasi, yang mengakibatkan kehilangan daya dukung bagi CRCP, bisa dicegah melalui pemilihan material dan pelaksanaan yang baik, khususnya dalam mencapai kepadatan yang memadai serta konsistensi dari bahan yang digunakan.

Pondasi dari semen *treated* ini, waktu antara pencampuran, penghamparan, dan pemadatan awal tidak boleh lebih dari satu jam. Ikatan

yang sempurna lapis pondasi treated semen dan pelat beton, tidak direkomendasikan disebabkan oleh potensi terjadinya retak refleksi dan menaikkan tebal efektif dari pelat CRCP, yang akan menghasilkan perlunya jumlah penulangan yang lebih besar.

Interlayer diperlukan diantara pondasi jenis ini dan pelat beton, untuk menghilangkan tegangan. Umumnya lapisan interlayer ini, ialah campuran beraspal panas berkadar aspal tinggi, bergradasi rapat dengan tebal 2,5 sampai 5 cm yang diletakan diatas lapisan semen *treated base* guna mengurangi potensi erosi serta menghilangkan tegangan akibat *curling*, *warping*, pemuaian dan penyusutan.

Semen *treated base* jangan dihampar pada temperatur di bawah titik beku atau sekitar titik beku, disarankan penghamparan dan *curing* dilakukan bila temperatur udara diatas 4°C (diukur ditempat terlindung) sampai kekuatan yang memadai dicapai. Curing pada *cement treated base* bisa menggunakan lembaran *polyethylene* selama 3 sampai 5 hari, atau disemprot dengan air yang sangat kecil (pengkabutan) beberapa kali dalam sehari setelah penghamparan dan pemadatan. Pada setiap hari akhir pekerjaan, sambungan pelaksanaan harus dibuat pada lapisan *base* dengan membentuk permukaan yang tegak.

3.4.2.3 Pondasi *Lean Concrete*

Lean concrete (beton kurus) disebut juga dengan "*econocrete*" merupakan bahan yang kuat dan tahan erosi. *Lean concrete* telah banyak digunakan sebagai pondasi untuk CRCP. *Lean concrete* hendaknya dicuring menggunakan pigmented dan dibiarkan tidak diberi *texture*, untuk mencegah ikatan dengan pelat beton CRCP.

Pengamatan lapangan telah menunjukkan bahwa *lean concrete* mengurangi erosi pada lapisan pondasi dan juga mengurangi kehilangan daya dukung.

Beberapa agensi menyarankan dilakukan penggergajian pelemahan sambungan ketika pondasi *lean concrete* telah *setting*, untuk mencegah terbentuknya retak yang lebar dan refleksi ke lapisan CRCP.

Salah satu cara lainnya telah dilakukan dengan berhasil, yaitu menempatkan stabilisasi aspal atau campuran beraspal panas antara 2,5 sampai 5 cm di atas lapisan *lean concrete* guna meminimalkan erosi, memberikan pelepasan tegangan, memberikan lapisan pencegah perubahan kadar air sebagaimana seperti pada *cement treated base*.

3.4.3 Pondasi Gradasi Terbuka Permeable (*Open Graded Permeable Base*)

Lapisan pondasi gradasi terbuka adalah lapisan yang bisa melewatkan air dengan permeabilitas di laboratorium 300 ft/hari (100 meter/hari) atau lebih besar. Permeabilitas dari pondasi harus seimbang dengan stabilitasnya. Stabilitas lebih kritis daripada permeabilitas pada lapisan pondasi CRCP.

Masalah utama pada pondasi gradasi terbuka untuk CRCP ialah seringkali mortar beton masuk ke dalam rongga lapisan pondasi yang menghasilkan ikatan tambahan antara pelat dan lapisan pondasi tersebut, yang mengakibatkan naiknya tebal pelat efektif dari CRCP ini, karenanya akan menimbulkan kekurangan penulangan baja sebagai persentase dari penampang perkerasan beton ini. Masalah ini akan merubah jarak retakan melintang dan akhirnya pada masalah kinerjanya.

Selanjutnya, disebabkan oleh kelenturan dari CRCP, lapisan yang tidak menggunakan bahan pengikat (*unbound layer*) yang langsung di bawah lapisan gradasi terbuka (*open graded*) akan terpompa kedalam dan masuk celah celah lapisan permeable, menyebabkan *settlement* setempat. Hal ini, telah terjadi pada lapisan tanah dasar yang distabilisasi dengan kapur di

beberapa proyek. Dikarenakan alasan tersebut, pondasi *permeable* umumnya tidak disarankan untuk CRCP, kecuali ada bahan yang bisa mencegah masalah ini, misalnya dengan penggunaan geotextil.

Pondasi bergradasi terbuka sangat populer tahun 80-an dan awal tahun 90-an, tetapi karena banyak kerusakan akibat mekanisme tersebut, maka banyak agensi sekarang tidak menggunakannya. Jika komponen ini memang diperlukan, maka permeabilitasnya harus dikurangi menjadi 30 m/hari guna meningkatkan stabilitasnya.

Pondasi Pada Metoda AASHTO

Pada metoda AASHTO, lapisan pondasi harus diperhitungkan pada kehilangan daya dukung (*loss of support – LOS*), ini dimaksudkan untuk mengkomoidasi potensi kehilangan daya dukung yang bisa muncul dari erosi lapisan *subbase* dan atau pergerakan tanah arah vertikal. Jenis pondasi dan nilai LS diperlihatkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Tipikal nilai LS untuk berbagai tipe bahan

| Tipe Bahan Pondasi I | Modulus Resilient / Elastis E (psi) | Nilai LS |
|---|--------------------------------------|-----------|
| <i>Cement treated granular base</i> (CTB) | 1.000.000 – 2.000.000. | 0,0 – 1,0 |
| <i>Cement Aggregate Mixture</i> | 500.000 – 1.000.000 | 0,0 – 1,0 |
| <i>Asphalt treated Base</i> (ATB) | 350.000 – 1.000.000 | 0,0 – 1,0 |
| <i>Bituminous stabilized Mixture</i> (Stabilisasi aspal) | 40.000 – 300.000 | 0,0 – 1,0 |
| <i>Lime stabilized</i> (Stabilisasi kapur) | 20.000 – 70.000 | 1,0 – 3,0 |
| <i>Unbound granular materials</i> (Bahan berbutir) | 15.000 – 45.000 | 1,0 – 3,0 |
| <i>Fine grained or natural subgrade materials</i> (Berbutir halus atau tanah dasar asli) | 3.000 – 40.000 | 2,0 – 3,0 |

Nilai LS juga harus diperhitungkan terhadap akibat pergerakan *vertical* dari tanah yang terjadi dibawah perkerasan. Jadi, meskipun bahan *subbase* yang

dipergunakan bersifat tidak erosi, namun rongga masih bisa terjadi yang akan mereduksi umur perkerasan. Umumnya untuk tanah ekspansif yang aktif nilai LS antara 2 sampai 3, dan harus ditentukan oleh pengalaman dari badan/ institusi yang menanganai masalah ini

3.5 Penyalur Beban

Koefisien penyalur beban sangat tergantung pada jenis perkerasan beton itu sendiri, apakah bersambung atau menerus serta pada jenis bahu jalan yang dipergunakan. Pada perkerasan beton bertulang menerus (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*) nilai koefisien penyalur beban (J) disarankan antara 2,9 – 3,2 tergantung dari kemampuan *interlocking* agregat untuk menyalurkan beban. Pada masa lalu, umumnya nilai J yang digunakan untuk CRCP ialah 3,2 tetapi sejalan dengan perencanaan lebar retak yang lebih baik, maka tiap agensi hendaknya mengembangkan kriteria masing masing berdasarkan pada agregat lokal dan kisaran temperatur di daerahnya.

Koefisien penyaluran beban (J) untuk kondisi yang sama akan membesar bila beban lalu lintas meningkat. Sebagai pegangan umum nilai penyalur beban (J) yang besar harus digunakan untuk nilai “k” yang rendah, koefisien thermal yang tinggi, dan variasi temperatur yang tinggi pula.

Sebagai pegangan umum, ukuran diameter dan panjang dowel tergantung pada tebal pelat, di mana diameter dowel sekitar 1/8 tebal pelat., sedangkan jarak dan panjang dowel umumnya 12 inchi (30 cm) dan 18 inchi (45 cm).

Perbedaan antara perkerasan bersambung tanpa tulangan dan perkerasan bersambung dengan tulangan, maupun perkerasan menerus dengan tulangan dalam penentuan tebal pelat ialah pada koefisien penyaluran beban “J” , seperti terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Koefisien Penyaluran Beban, untuk Berbagai Jenis Perkerasan Beton

| Bahu | Aspal | | Beton terikat | |
|--|-----------|-----------|---------------|-----------|
| | Ya | Tidak | Ya | Tidak |
| Penyalur beban | | | | |
| Tipe perkerasan | | | | |
| Bersambung tanpa tulangan dan bersambung dengan tulangan | 3,2 | 3,8 – 4,4 | 2,5 – 3,1 | 3,6 – 4,2 |
| Menerus dengan tulangan (CRCP) | 2,9 – 3,2 | N/A | 2,3 = 2,9 | N/A |



4

PROSEDUR PERENCANAAN TULANGAN

Tujuan dari penulangan pada perkerasan kaku ialah bukan untuk mencegah retak pada beton, tetapi untuk menjaga agar retakan tetap rapat dan bagian pelat terikat kuat, sedemikian rupa sehingga pelat masih bisa memikul beban lalu lintas yang melaluinya.

Pada perkerasan beton bersambung dengan tulangan, jumlah tulangan ditentukan oleh jarak sambungan susut. Pada perkerasan menerus dengan tulangan, jumlah tulangan yang memadai dipasang untuk menghilangkan sambungan susut, dengan adanya retak melintang yang halus secara acak dengan jarak antara 0,5 sampai 2,5 meter.

4.1 Penulangan menurut Metode Austroad (Australia)

4.1.1 Penulangan pada Perkerasan Beton Bersambung dengan Tulangan

Penulangan yang diperlukan pada perkerasan beton, ialah penulangan memanjang dan penulangan melintang.

Jumlah tulangan yang diperlukan pada perkerasan bersambung dengan tulangan ialah:

$$A_s = (\mu L_p g D) / (1000 f_s) \dots\dots\dots \text{Rumus 4.1}$$

Dengan:

- A = Luas tulangan baja yang diperlukan (mm^2/m lebar pelat)
- Ffs = Tegangan tarik ijin dari baja (MPa) Umumnya 0,6 kali dari kuat tarik batasnya (f_{sy})
- G = Gravitasi (m/dt^2)
- D = Tebal pelat (mm)
- L = Jarak ke sambungan yang tidak terikat atau tepi perkerasan (m)
- P = Berat per satuan volume pelat (kg/m^3)
- μ = Koefisien gesekan antara pelat beton dan lapis pondasi (subbase)

Pengalaman di Australia menunjukkan bahwa pelat dengan jarak sambungan melintang sambungan antara 8 dan 12 meter memberikan hasil optimum baik dari kinerja perkerasan, biaya dan kenyamanan pengendara.

Penggunaan penulangan dengan serat baja dipandang memadai bila kuat tarik lenturnya ingin dinaikkan guna mencegah retak pada pelat dengan “bentuk tak lajim” dan bilamana ketahanan abrasi perlu lebih tinggi untuk maksud keawetan. Tipe perkerasan tersebut umumnya digunakan pada *toll plazas*, *roundabout* dan pemberhentian bus. Panjang serat baja umumnya antara 15 dan 50 mm dengan salah satu ujungnya besar yang berfungsi

sebagai anker untuk menambah ikatan. Jumlah penggunaan serat baja umumnya antara 45 sampai 75 kg/m³. Perkiraan nilai koefisien gesk antara pelat dan bahan di bawahnya ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perkiraan nilai koefisien gesek

| Tipe pondasi | Tipe perkerasan | Rekomendasi | | Perkiraan nilai gesekan |
|--|---|---|--|-------------------------|
| | | <i>Lean mix concrete curing</i> | Pemecah ikatan | |
| <i>Lean Mix Concrete</i> | Bersambung tanpa tulangan & menerus dengan tulangan | <i>Wax emulsion</i> | Pelaburan aspal dengan agregat 5 – 7 mm | 1,5 |
| | Bersambung dengan tulangan | <i>Wax emulsion</i> atau <i>hydrocarbon resin</i> | Pelaburan aspal dengan agregat 5 – 7 mm, atau bitumen emulsi | (i) 1,5 (ii) 2,0 |
| | Bertulang dengan serat baja | Wax emulsion | Wax emulsion | 1,7 |
| <i>Roll lean concrete & Cement stabilized crushed rock</i> | Semua tipe | Pelaburan aspal dengan agregat 5 – 7 mm | | 2,5 |
| Campuran beraspal begradasi rapat | Semua tipe | * Lihat catatan | | (2,5 – 3,0)* |

* Catatan: koefisien Gesek pada aspal bervariasi tergantung pada umur, *stiffness* dan tekstur permukaan. Perkerasan yang sudah tua, kaku dan begradasi terbuka menghasilkan gesekan yang besar. Tetapi aspal yang baru dan fleksibel mempunyai koefisien gesek yang lebih rendah.

4.1.2 Penulangan pada Perkerasan Menerus dengan Tulangan

Penulangan memanjang

Tulangan memanjang berfungsi untuk menahan retak melintang dan akhirnya untuk mengikat bidak retak tetap menyatu. Luas penampang tulangan baja memanjang yang diperlukan pada perkerasan pada perkerasan menerus dengan tulangan ditentukan sebagai berikut:

$$\rho = [(f'_t / f'_b) d_b (\epsilon_s + \epsilon_t)] / 2 W \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.2}$$

Dengan:

- ρ = Tulangan memanjang yang diperlukan, yaitu perbandingan antara luas penampang baja dan luas penampang dari pelat beton
- f'_t / f'_b = Perbandingan antara kuat tarik dari beton muda dengan kuat lekat antara beton dan baja. Nilai tersebut bisa dianggap 1 untuk *plain concrete* atau 0,5 untuk tulangan berulir
- d_b = Diameter tulangan memanjang (mm)
- ϵ_s = Perkiraan regangan susut – antara 200 – 300 $\mu \epsilon$ untuk beton dengan penyusutan di laboratorium tidak lebih dari 450 $\mu \epsilon$ pada 21 hari ketika ditest sesuai AS 1012.13 setelah tiga minggu dikeringkan di udara ruang
- ϵ_t = Perkiraan regangan maksimum akibat *thermal* dari maksimum hidrasi temperatur sampai pada temperatur di musim yang terendah – nilainya diperkirakan 300 $\mu \epsilon$, kecuali temperatur rata-rata diukur pada saat penghamparan beton 10 C atau lebih kecil, maka nilai bisa dianggap 200 $\mu \epsilon$. (*Roads Authority NSW 1991*)
- W = Lebar retak maksimum yang diizinkan (mm), untuk kondisi normal nilainya 0,3 mm dan 0,2 mm untuk kondisi yang berat (*exposure*), seperti yang berdekatan dengan pengaruh lingkungan laut.

Persamaan 4.2 menunjukkan bahwa proporsi baja berbanding terbalik dengan proporsi kuat lekat. Untuk meningkatkan kekuatan lekat, tulangan memanjang hendaknya mengikuti hal hal sebagai berikut:

- Menggunakan baja ulir
- Diameter tulangan baiknya 16 mm, tapi tidak menggunakan diameternya yang lebih besar dari 20 mm.
- Jarak antarsumbu dari tulangan memanjang tidak lebih dari 225 mm

Untuk tulangan ulir, persamaan 4.3 bisa ditulis lebih sederhana sebagai berikut:

$$\rho = [0,25 d_b (\epsilon_s + \epsilon_t)] / W \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.3}$$

Untuk menjamin terhadap kelelahan baja, rasio penulangan sebenarnya hendaknya tidak lebih besar dari nilai kritis yang ditunjukkan pada rumus di bawah ini:

$$\rho_{cri} = f_{ct} (1,3 - 0,2 \mu) / (f_{sy} - m f_{ct}) \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.4}$$

dengan:

- ρ_{cri} = Proporsi minimum dari tulangan memanjang untuk memenuhi persyaratan kekuatan beton
- f_{ct} = Kuat tarik beton (MPa) sama – dengan 60 % kuat tarik lentur beton pada umur 28 hari (f_{cf})
- μ = Koefisien gesek antara pelat beton dan dan pondasi
- f_{sy} = Kuat leleh karakteristik dari tulangan baja memanjang (Standard Australia, 2001 b)
- m = Perbandingan modulus elastisitas baja dan beton (E_s/E_c) – dianggap nilainya 7,5

Minimum proporsi tulangan memanjang ialah 0,65%. Pada perencanaan perkerasan beton menerus dengan tulangan, sangatlah penting bahwa jumlah optimum dari tulangan memanjang harus dipenuhi , sehingga jarak

antara retak dan lebar retak bisa dikontrol. Jika jarak retak terlalu lebar, retak tersebut akan menjadi lebih lebar dengan konsekuensi kehilangan *interlocking* penyaluran beban dan mempercepat korosi dari baja tersebut.

Jarak retakan teoritis pada perkerasan menerus dengan tulangan bisa diperkirakan dengan rumus sebagai berikut :

$$L_{cr} = f_{ct}^2 / \{ m^2 u f_b [(\epsilon_s + \epsilon_t) E_c - f_{ct}] \} \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.5}$$

Dengan :

- L_{cr} = J antar retak teoritis (m)
- f_{ct} = Kuat tarik beton (MPa)
- M = Perbandingan modulus elastisitas baja dan beton (E_s/E_c) – dianggap nilainya 7,5
- P = Perbandingan antara luas penampang baja dan luas penampang dari pelat beton
- U = Keliling dari tulangan per satuan luas penampang tulangan, yang bisa dinyatakan dengan sederhana dengan 2 dibagi jari jari tulangan. (m^{-1})
- f_b = Kuat lekat (MPa) – untuk beton yang sudah mantap, dan bila digunakan baja ulir, bisa dianggap sebesar 2 f_{ct} .
- ϵ_s = Perkiraan regangan susut – antara 200 – 300 $\mu \epsilon$ untuk beton dengan penyusutan di laboratorium tidak lebih dari 450 $\mu \epsilon$ pada 21hari ketika ditest sesuai AS 1012.13 setelah tiga minggu dikeringkan di udara ruang
- ϵ_t = Perkiraan regangan maksimum akibat thermal dari maksimum hidrasi temperature sampai pada temperature di musim yang terendah – nilainya diperkirakan 300 $\mu \epsilon$, kecuali temperature rata rata diurnal pada saat penghamparan beton 10 C atau lebih kecil, maka nilai bisa dianggap 200 $\mu \epsilon$. (Roads Authority NSW 1991)
- E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

Persamaan ini menunjukkan bahwa jarak retakan berbanding terbalik dengan proporsi ρ , u dan f_b , konsekuensinya, untuk mendapatkan retak yang halus dan jarak retak yang optimum, persentase tulangan dan hubungan keliling dan luas dari tulangan harus tinggi. Jarak retak yang dekat juga didapat bila kuat lekat tinggi. Karenanya penggunaan baja ulir sangat disukai.

Pengalaman pada perkerasan menerus dengan tulangan menunjukkan bahwa jarak retak yang optimum adalah antara 0,5 sampai 2,5 meter.

Penulangan Melintang

Luas tulangan melintang yang diperlukan (A_s) pada perkerasan menerus dengan tulangan, adalah sama dengan tulangan melintang pada perkerasan bersambung dengan tulangan.

4.2 Penulangan menurut metoda AASHTO 1993

Dalam penentuan ukuran tulangan, hal yang perlu dipertimbangkan ialah ketahanan terhadap korosi dari tulangan, khususnya bila terekspose terhadap kelembaban air dan terhadap pengaruh garam. Penulangan digunakan jika kemungkinan terjadinya retak melintang selama umur perkerasan tersebut cukup tinggi, akibat pergerakan tanah, atau temperatur/kadar air menimbulkan perubahan tegangan.

Pada perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (JPCP), jarak antara sambungan harus dipilih, sehingga perubahan tegangan akibat temperatur dan kadar air tidak akan menghasilkan retak antar sambungan. Jarak maksimum sambungan akan bervariasi, tergantung pada kondisi setempat, tipe *subbase*, jenis agregat kasar. Selanjutnya, jarak sambungan maksimum harus dipilih untuk mengurangi pergerakan sambungan dan memaksimalkan penyaluran beban.

Pada perkerasan bersambung dengan tulangan (JRCP), ada beberapa criteria yang perlu dicermati, yaitu:

- Panjang pelat yaitu jarak antara sambungan, hal ini penting karena pengaruhnya terhadap tegangan tarik beton maksimum yang akan berpengaruh pada kebutuhan tulangan.
- Tegangan kerja pada tulangan diambil 75% dari kuat leleh baja (*yield strength*) di mana untuk baja dengan grade 40 dan 60 tegangan kerja maksimum yang diizinkan ialah 30.000 dan 45.000 psi (2400 dan 3600 kg/cm²). Untuk tulangan dalam bentuk *Welded Wire Fabrics* dan *Deformed Wire Fabric* (DWF), tegangan lelehnya yaitu sebesar 65.000 psi dan tegangan ijin nya sebesar 48750 psi.
- Faktor gesekan, yang menyatakan tahanan gesek antara bagian bawah pelat dengan bagian atas dari *subbase* atau tanah dasar. Nilai yang direkomendasikan ialah seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Faktor gesekan yang direkomendasikan

| No | Jenis Bahan Dibawah Pelat | Faktor Gesek |
|----|---------------------------|--------------|
| 1 | Surface treatment | 2,2 |
| 2 | Lime stabilization | 1,8 |
| 3 | Asphalt stabilization | 1,8 |
| 4 | Cement stabilization | 1,8 |
| 5 | River gravel | 1,5 |
| 6 | Crushed stone | 1,5 |
| 7 | Sand stone | 1,2 |
| 8 | Natural subgrade | 0,9 |

4.2.1 Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan (CRCP)

Prinsip dari penulangan perkerasan ini, ialah tulangan memanjang “menerus” sepanjang perkerasan tersebut. Tulangan memanjang digunakan untuk mengontrol retak, yang terjadi pada perkerasan akibat perubahan volume pada beton. Penulangan bisa tulangan polos atau tulangan ulir (*reinforcing bars or deformed wire fabric*).

Maksud dari pemasangan tulangan melintang pada perkerasan menerus dengan tulangan, ialah untuk mengontrol lebar retak pada arah memanjang yang mungkin terjadi. Tulangan melintang pada CRCP tidak diperlukan, bila retak memanjang tidak terjadi pada perkerasan yang mempunyai kondisi tanah dan jenis agregat yang digunakan sama dengan yang akan direncanakan. Akan tetapi bila retak memanjang terjadi, tulangan melintang akan menahan pergerakan lateral dan meminimalkan pengaruh yang tidak diinginkan pada tepi pelat. Penulangan melintang direncanakan berdasarkan cara yang sama dengan yang digunakan pada perkerasan bersambung dengan tulangan.

4.2.2 Penyusutan Beton

Susut beton akibat air merupakan faktor yang penting dalam perencanaan tulangan. Faktor lain yang mempengaruhi susut beton ialah, kadar semen, campuran kimia sebagai bahan tambah, metoda *curing*, agregat dan kondisi sewaktu *curing*. Nilai susut pada umur beton 28 hari dipergunakan sebagai nilai susut untuk perencanaan.

Susut dan kekuatan beton tergantung pada perbandingan air terhadap semen, semakin banyak air maka semakin besar susut dan semakin rendah kekuatannya. Tabel 4.3 bisa dipergunakan sebagai pedoman dalam pemilihan nilai susut dikaitkan dengan nilai kuat tarik tidak langsung dari beton tersebut.

Tabel 4.3 Hubungan antara susut dan kuat tarik tak langsung pada beton

| Kuat tartik tidak langsung (psi) | Susut (in/in) |
|----------------------------------|----------------|
| 300 atau lebih kecil | 0,0008 |
| 400 | 0,0006 |
| 500 | 0,00045 |
| 600 | 0,0003 |
| 700 atau lebih besar | 0,0002 |

4.2.3 Koefisien Termal Beton

Koefisien termal pada beton bervariasi tergantung pada faktor perbandingan air terhadap semen, umur beton, kelembaban relatif, dan tipe agregat dalam beton. Pengaruh tipe agregat kasar merupakan faktor yang paling besar. Rekomendasi nilai koefisien termal, sebagai fungsi dari tipe agregat disajikan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai dari koefisien termal pada perkerasan beton sebagai fungsi tipe agregat.

| Tipe agregat kasar | Koefisien termal beton ($10^{-6}/^{\circ}\text{F}$) |
|--------------------------|---|
| Quartz | 6,6 |
| Sandstone (pasir kasar) | 6,5 |
| Gravel | 6,0 |
| Granite | 5,3 |
| Basalt | 4,8 |
| Limestone | 3,8 |

4.2.4 Ukuran Diameter Tulangan

Umumnya tulangan ulir dengan ukuran no 5 dan no 6 digunakan sebagai tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP). Tulangan memanjang terbesar pada CRCP secara praktis ialah no 6, guna memenuhi keperluan ikatan antara beton dan tulangan dan juga untuk mengontrol lebar retak. Grafik perencanaan membatasi ukuran tulangan mulai dari no 5 sampai no 7. Ukuran diameter nominal dalam inchi, ialah nominal ukuran tulangan dibagi 8. Diameter tulangan harus cukup besar, sehingga korosi pada tulangan tidak akan berpengaruh besar terhadap pengurangan ukuran diameter tulangan. Selain itu ukuran tulangan melintang, disesuaikan dengan rekomendasi dari pabrik pembuatnya.

4.2.5 Koefisien Termal Baja

Jika tidak diketahui secara pasti nilai koefisien termal baja, maka untuk perencanaan bisa digunakan nilai sebesar 5×10^{-6} in/in/ $^{\circ}\text{F}$.

4.2.6 Penurunan Temperatur Perencanaan (*Design Temperature Drop*)

Penurunan temperature dipergunakan pada perencanaan penulangan yaitu perbedaan antara temperatur beton rata rata pada waktu *curing* dengan temperatur perencanaan minimum. Temperatur beton rata rata selama *curing*, bisa diambil sebagai temperatur harian rata rata tertinggi selama bulan dimana pekerjaan tersebut akan dilaksanakan. Temperatur perencanaan minimum didefinisikan sebagai temperature harian rata rata terendah dalam satu bulan, selama umur perkerasan yang direncanakan. Penurunan temperature perencanaan (*design temperature drop*) yang diperhitungkan pada penulangan memanjang guna perencanaan ialah:

$$DT_D = T_H - T_L \dots\dots\dots \text{Persamaan. 4.6}$$

Dengan:

DT_D = Penurunan temperatur perencanaan , °F

T_H = Rata rata temperature yang tinggi dalam bulan dimana perkerasan tersebut dibangun. °F

T_L = Rata rata temperatur harian terendah, selama bulan terdingin dalam satu tahun. °F

4.2.7 Faktor Gesekan

Faktor gesekan antara pelat beton dengan lapisan base untuk perkerasan menerus dengan tulangan (CRCP) sama seperti untuk perkerasan bersambung.

4.2.8 Ketebalan Pelat

Ketebalan pelat beton dihitung dengan persamaan 4.7 di bawah ini, yang tergantung pada jumlah kumulatif beban lalu lintas selama umur rencana, tingkat pelayanan akhir (Pt) , mutu beton, keadaan drainase serta jenis

perkerasan betonnya sendiri apakah bersambung tanpa tulangan, bersambung dengan tulangan atau menerus dengan tulangan.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{0,75}}} + \frac{(4,22 - 0,32 P_t) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c C_d \times [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c \cdot k)^{0,25}} \right]} \right]}{.}$$

. Persamaan 4.7

Dengan:

W_{18} = Beban lalu lintas rencana, *Equivalent Single Axle Load* (ESAL)

Z_R = Standar normal deviasi

S_o = Standar deviasi

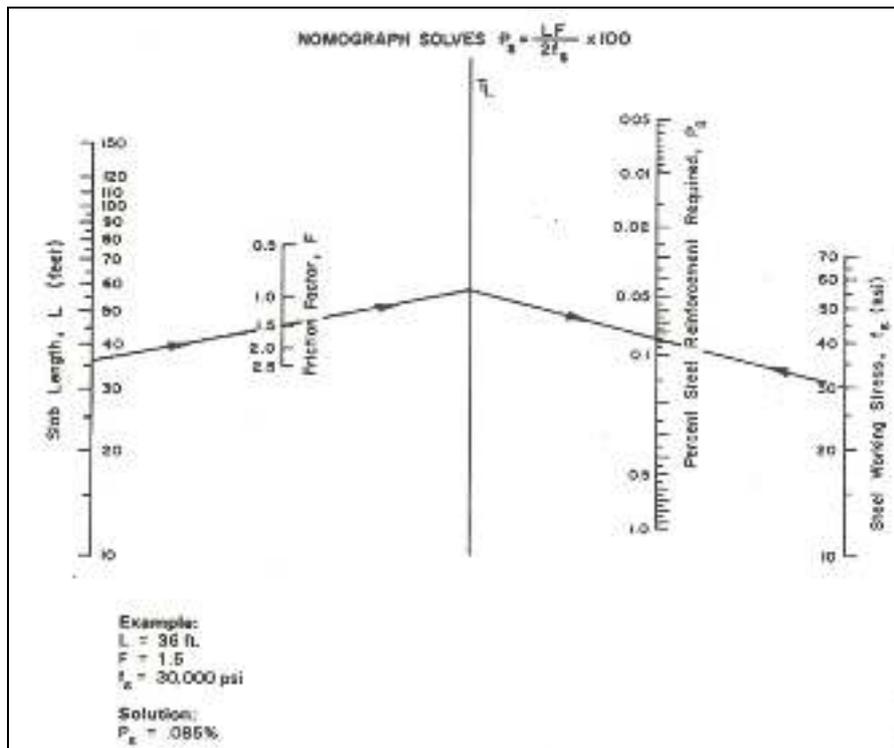
D = Tebal pelat beton (inch)

ΔPSI = *Serviceability loss* = $p_o - p_t$

Tebal pelat ini akan menentukan besar tulangan yang diperlukan.

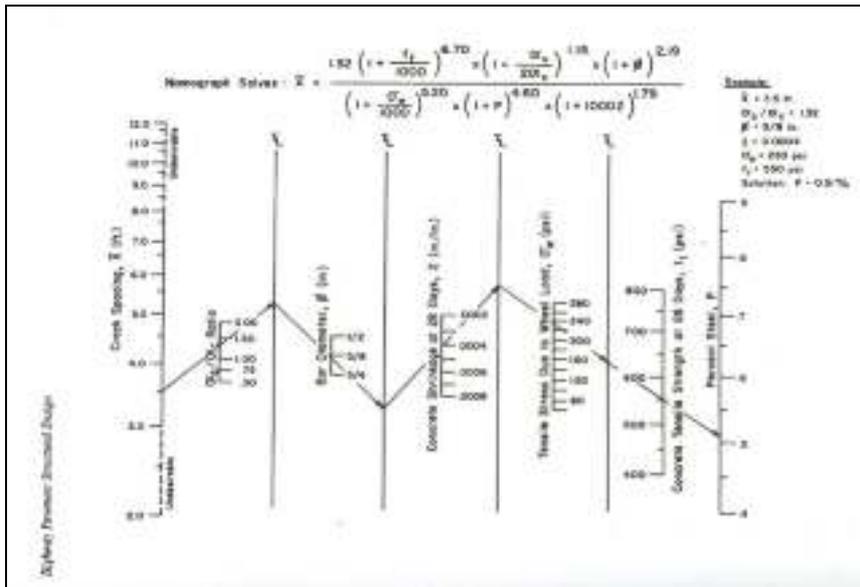
4.3 Penentuan Keperluan Tulangan

Besar tulangan yang diperlukan, ditentukan berdasarkan rumus atau grafik sesuai gambar di bawah ini, dimana rumus atau grafik ini berlaku juga untuk penulangan melintang baik pada perkerasan bersambung dengan tulangan maupun perkerasan beton menerus dengan tulangan.

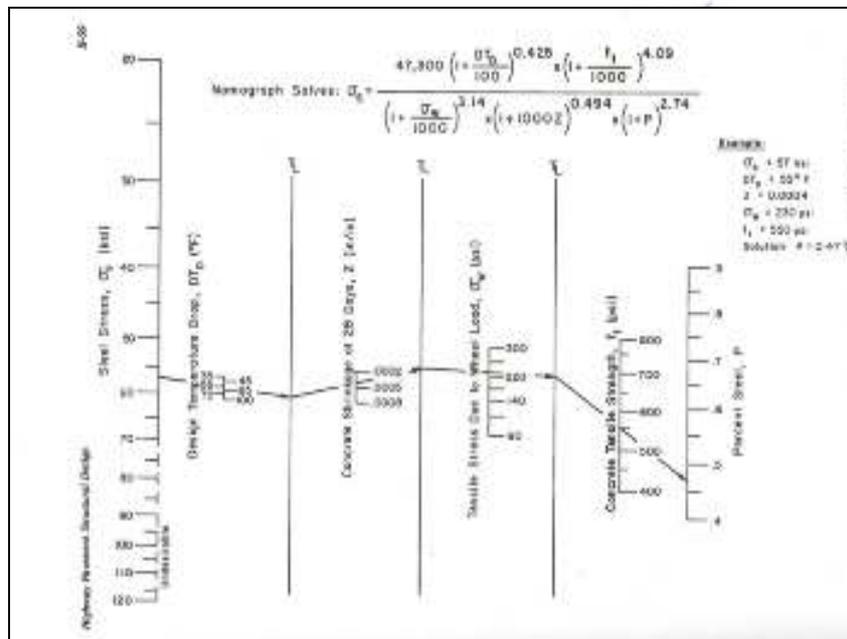


Gambar 4.1 Grafik penentuan keperluan tulangan melintang

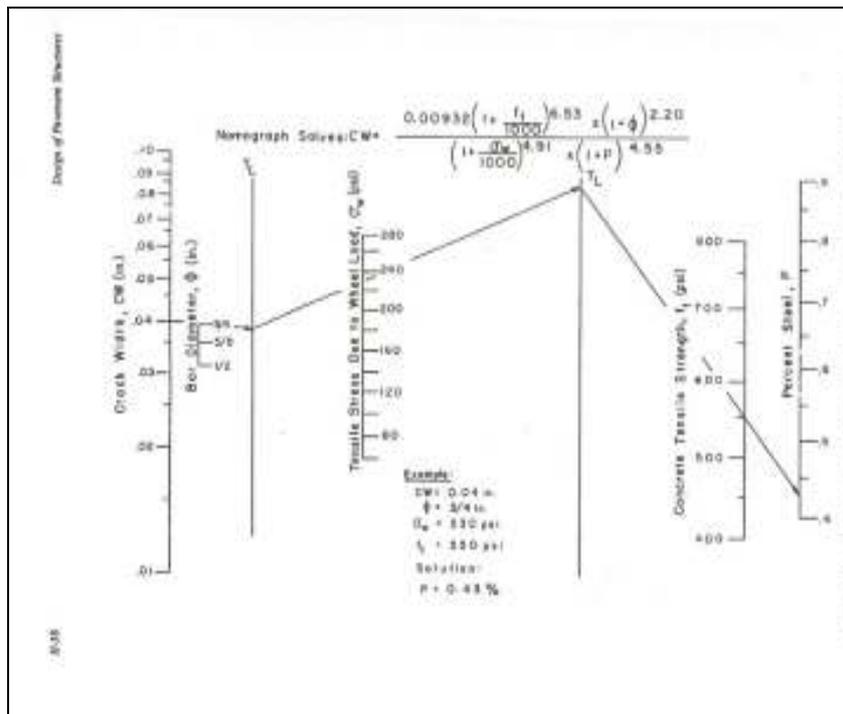
Tulangan memanjang pada perkerasan menerus dengan tulangan, ditentukan dengan menggunakan rumus- rumus atau grafik – grafik berikut ini:



Gambar 4.2 Grafik penentuan tulangan memanjang berdasarkan kriteria jarak retak



Gambar 4.3 Grafik penentuan tulangan memanjang minimum berdasarkan kekuatan baja



Gambar 4.4 Grafik penentuan tulangan memanjang minimum berdasarkan lebar retak

Ada tiga batasan kriteria yang perlu dipertimbangkan di sini, ialah:

Pertama Jarak antar retakan, di mana jarak retakan maksimum adalah 8 ft sedang jarak retakan minimum 3,5 ft. Kedua, ialah batasan lebar retak, di mana disarankan tidak lebih dari 0,04 inch (1 mm), dan selanjutnya yang ketiga ialah batasan tegangan yang bekerja pada baja, yaitu maksimum 75% dari kuat leleh baja.

Tulangan melintang dihitung dengan rumus, atau grafik seperti pada perkerasan bersambung dengan tulangan, di mana jarak antartulangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Y = (As / Pt D) \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Rumus 4.8}$$

Dengan:

- Y = Jarak tulangan melintang (*inchi*)
- As = Luas penampang tulangan (*inchi*²)
- Pt = Persentase tulangan melintang
- D = Tebal pelat (*inchi*)

4.3.1 Jarak Retak

Pelat CRCP mendistribusikan beban ke arah memanjang dan melintang. Dalam hal jarak retak melintang yang sangat pendek dengan penyaluran beban yang tidak baik, maka pelat akan berfungsi mengarah sebagai balok dengan bagian memanjangnya dalam arah melintang. Tegangan lentur melintang akibat beban roda akan terjadi. Sebagai hasilnya retak memanjang akan terjadi, dan terus berkembang menjadi *punchout*. Disisi lain, jarak retak melintang yang besar akan menghasilkan retak yang lebih lebar dimana penyaluran bebannya akan rendah dan rentan terhadap *spalling*. Evaluasi jangka panjang pada CRCP membuktikan bahwa CRCP dengan daya dukung *subbase* yang memadai, serta pelebaran lajur atau bahu beton yang diikatkan, memberikan kinerja jangka panjang yang istimewa. Dari pengamatan terakhir bahwa jarak retak tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada *punchout* atau kerusakan lainnya sebagaimana diyakini sebelumnya. Pedoman AASHTO 86/93 merekomendasikan jarak retakan di control antara 1,1 sampai 2,4 meter. Akan tetapi, telah ditemukan bahwa jarak retak yang lebih kecil dari 0,6 m tetap mempunyai kinerja perkerasan yang baik dengan kondisi daya dukung tanah yang baik pula.

Analisis dari LTTP telah menunjukkan *probability* yang lebih tinggi ketika jarak retak lebih kecil dari 1,0 meter, akan tetapi analisis ini didasarkan pada segment jalan beton yang jumlahnya terbatas.

Walaupun perencana telah melakukan perencanaan meliputi jarak retak, melalui pemilihan jumlah tulangan, disana ada faktor – faktor yang tidak bias dikontrol selama pelaksanaan, termasuk pemilihan bahan, iklim dan metoda pelaksanaan. Karenanya penting sekali bahwa institusi meyakini bahwa asumsi selama perencanaan bisa sejalan selama pemilihan bahan dan proses pelaksanaan. Perlu dicatat “*cluster cracking*” dan “*y cracking*” merupakan kasus yang unik dari jarak retak yang pendek yang bisa menjadikan masalah terhadap kontribusi keruntuhan setempat termasuk *puchout*. Tipe kerusakan retak ini umumnya lebih berkaitan dengan pelaksanaan dari pada masalah pada perencanaan. Hal tersebut seringkali disebabkan oleh daya dukung setempat yang lemah atau konsolidasi beton yang tidak memadai.

4.3.2 Lebar Retak

Lebar retak mempunyai pengaruh yang krusial pada kinerja CRCP. Lebar retak yang berlebihan akan menuju kondisi yang tidak diinginkan seperti masuknya air yang akhirnya akan menimbulkan korosi pada tulangan dan memperlemah lapisan bawah. Bahan padat juga bisa masuk kedalam retak yang lebar, dan kemudian karena perkerasan tersebut bisa memuai dan menyusut, akan menyebabkan tegangan yang berlebihan dretakan tersebut. Jika tidak diperikasa, tegangan ini bias menimbulkan retak gompal (*crack spalling*). Kemudian, retak lebar berarti kontak yang lebih sedikit akan terjadi antara bidang muka dari retakan tersebut, menghasilkan *interlock* agregat yang jelek. Konsekuensi dari keadaan ini, ialah meningkatnya lendutan pelat dan tegangan lenturnya (*flexural stresses*) yang pada gilirannya akan menjadikan *spalling* tambahan, *faulting* , retak sekunder dan *puchout*.

Pedoman AASHTO 86/93 merekomendasikan lebar retak dibatasi lebih kecil dari 1 mm, untuk mencegah terjadinya *spalling*. Akan tetapi, lebar retak 0,6 mm atau lebih kecil, ditemukan lebih efektif dalam mengurangi masuknya

air, sehingga korosi juga bisa diminimalkan dan tetap menjaga tingginya efisiensi penyaluran beban.

Secara umum, prosentase tulangan memanjang yang tinggi, menjadikan lebar retakan yang lebih kecil. Evaluasi lapangan menunjukkan jumlah tulangan memanjang 0,6% sampai 0,85% bisa efektif menahan lebar retak tetap rapat sepanjang umur rencana perkerasan jalan tersebut.

Kedalaman letak penulangan merupakan faktor penting lainnya dalam mengontrol lebar retak. Percobaan di ILLIONIS menunjukkan bahwa bila tulangan diletakan di atas tengah tengah tebal pelat, retak akan menjadi lebih sempit sehingga *puchout* dan perbaikan juga lebih sedikit sepanjang umur perkerasan tersebut. Berdasarkan pertimbangan selimut beton, tulangan hendaknya jangan diletakan lebih kecil dari 89 sampai 101 mm, dari permukaan CRCP.

4.3.3 Tegangan pada Tulangan

Tegangan yang cukup besar akan terjadi pada tulangan dilokasi retakan. Perencanaan tulangan telah mempertimbangkan kemungkinan putus dan atau terjadinya deformasi plastis pada lokasi tersebut. Leleh yang berlebihan atau putusnya tulangan akan membuat retak menjadi lebar, korosi dan hilangnya penyaluran beban yang kemudian akhirnya menghasilkan kerusakan yang tidak diinginkan.

Umunya dilakukan pembatasan tegangan pada perencanaan tulangan, yang besarnya merupakan persentase dari kekuatan batas tegangan tarik tulangan tersebut. Perlu disadari pada perencanaan bahwa bukaan retak yang sedikit lebih lebar akan dihasilkan, ketika deformasi permanen diizinkan terjadi.

4.3.4 Faktor Lain yang Mempengaruhi Kinerja CRCP

Telah diketahui, bahwa jarak retak, lebar retak dan tegangan pada tulangan juga merupakan fungsi dari faktor-faktor lain. Kuat tarik beton dibandingkan dengan tingkat tegangan merupakan hasil dari tahanan terhadap perubahan volume merupakan salah satu masalah yang perlu diperhatikan. Setiap faktor yang mempengaruhi tegangan tarik, atau faktor lain seperti tahanan pelat akan menyumbang perubahan volume. Hal ini juga mempunyai pengaruh kepada karakteristik retak dari CRCP.

4.4 Kriteria perencanaan

Umumnya kriteria perencanaan CRCP seringkali tidak berbeda dengan perencanaan perkerasan beton lainnya, tetapi ada beberapa perbedaan di antaranya jarak retak, lebar retak, tegangan pada tulangan.

4.4.1 Kriteria Pembatasan Jarak Retak, Lebar Retak, dan Tegangan pada Tulangan

AASHTO -86/93 menyarankan jarak antar-retak melintang sebesar 1.1 sampai 2,4 m, akan tetapi dalam prosedur perencanaan AASHTO Interim MEPDG tidak menyebutkan pembatasan jarak minimum, karena banyak faktor yang mempengaruhi hal ini termasuk prosentase penulangan. Namun jarak maksimum disarankan 1,8 meter.

AASHTO -86/93 menyarankan lebar retak lebih kecil atau sama dengan 1 mm, akan tetapi lebar retak 0,6 meter telah menunjukkan lebih efektif dalam mengatasi infiltrasi air, meminimalkan korosi, dan menjaga kesatuan dari lapisan pondasi serta menjamin efisiensi penyaluran beban yang cukup tinggi. Pedoman sementara MEPDG mensyaratkan lebar retak sama atau

lebih kecil dari 0,5 mm serta metoda manapun yang dipilih, perlu mempertimbangkan pengaruh garam ketika menentukan lebar retak.

Penulangan selain mempertimbangkan kekuatan tulangan terhadap putus, perlu juga mempertimbangkan terhadap deformasi plastis. Biasanya dengan mengijinkan tegangan kerja sebesar sekian persen dari tegangan lelehnya.

AASHTO 86/93 merekomendasikan maksimum tegangan kerja untuk baja dengan kuat leleh 420 MPa seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Tegangan kerja yang diijinkan,ksi (MPa)

| Kuat tarik tak langsung beton pada umur 28 hari ,psi (MPa) | Diameter tulangan , in (mm) | | |
|--|------------------------------|--------------|-------------|
| | 0,5 (12,7) | 0,625 (15,9) | 0,75 (19,1) |
| 300 (2,1) atau lebih kecil | 65 (448) | 57 (393) | 54 (372) |
| 400 (2,8) | 67 (462) | 60 (414) | 55 (379) |
| 500 (3,4) | 67 (462) | 61 (421) | 56 (386) |
| 600 (4,1) | 67 (462) | 63 (434) | 58 (400) |
| 700 (4,8) | 67 (462) | 65 (448) | 59 (407) |
| 800 (5,5) atau lebih besar | 67 (462) | 67 (462) | 60 (414) |

Dalam AASHTO -86/93 diijinkan tegangan kerja lebih besar dari tegangan leleh, yang bisa menghasilkan deformasi plastis. Sebagai akibatnya perlu diingat bakal terjadi lebar retak yang lebih besar, bila permanen deformassi diizinkan.

Perlu diingat,batasan batasan dalm oerencanaan CRCP yang waktu lalu, mungkin sudah tidak relevan dengan keadaan perkembangan sekarang. Perencana perlu mengetahui perkembangan terakhir dari CRCP ini.

4.4.2 Sifat Beton

Beberapa hal tentang sifat beton yang harus diperhatikan pada perencanaan CRCP,ialah:

Kekuatan; Kuat tarik dan kuat lentur, merupakan masing masing sifat beton yang perlu untuk penulangan dan perencanaan tebal.

Pola retak melintang pada CRCP berkaitan dengan kuat tarik beton.

Tegangan tarik beton yang tinggi menghasilkan jarak retak melintang yang lebih besar. Selanjutnya variabilitas yang besar dari kuat tarik beton bias menghasilkan jarak retak melintang yang lebih pendek, begitu juga sebaliknya. Kuat tarik beton pada 28 hari ditentukan berdasarkan metoda ASTM C 496 atau AASHTO T198 *splitting tensile stress*.

CRCP juga memerlukan kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas. Retak fatik (*fatigue*) pada beton mempunyai korelasi dengan perbandingan tegangan *flexural* – kekuatan. Pada CRCP perbandingan yang rendah antara tegangan dan kekuatan beton bisa meminimalkan perkembangan *punchout*. Kekuatan *flexural* pada 28 hari ditentukan menggunakan ASTM C78 atau AASHTO T 97 *third point loading* (pembebanan tiga titik- *modulus of rupture*), dan ini digunakan oleh hampir semua prosedur perencanaan.

Kekuatan beton untuk CRCP tidak berbeda dengan yang digunakan pada perkerasan beton bersambung.

4.4.3 Koefisien Pemuaihan Beton Akibat Panas

Perubahan volumetrik pada beton, dibentuk sebagian besar oleh koefisien pemuaihan beton akibat panas. Koefisien pemuaihan beton akibat panas, merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kinerja CRCP.

Pemilihan agregat dengan faktor muai yang rendah disarankan guna mendapatkan pola retak yang cukup guna meminimalkan potensi *punchout*. Untuk alasan ekonomis, bahan lokal harus digunakan. Perbaiki metode

pelaksanaan termasuk optimasi campuran beton sering bisa digunakan untuk mengimbangi pemuaian yang tinggi.

4.4.4 Susut Akibat Pengeringan (*Drying Shrinkage*)

Ini merupakan fungsi dari beberapa faktor, termasuk faktor air – semen, tipe semen, kadar semen, bahan tambah yang digunakan, tipe dan jumlah agregat, serta kondisi iklim.

Perubahan *volumetric* harus dijaga seminimal mungkin pada CRCP yang akan membuat retak lebar, dan akan mempengaruhi kinerja.

4.4.5 Panas Hidrasi

Mempengaruhi waktu *setting*, perkembangan kekuatan, dan modulus elastisitas. Selanjutnya panas hidrasi menyumbang kenaikan temperatur pada beton selama beberapa jam pertama setelah penghamparan.

Jika mungkin, lakukan pengukuran untuk mengurangi pengaruh tidak baik dari panas hidrasi yang berlebihan, karena akan mempengaruhi kinerja CRCP.

4.4.6 Jenis dan Sifat Penulangan

Beberapa jenis tulangan telah digunakan pada CRCP, tetapi yang paling umum ialah tulangan ulir. Perubahan *volumetric* pada baja dan beton menimbulkan tegangan pada kedua bahan tersebut. Penyaluran tegangan dari baja ke beton tergantung dari luas permukaan baja dan bentuk permukaan dari penulangan tersebut. Persyaratan untuk tulangan ialah sesuai AASHTO M 31, M42, atau M53 masing masing untuk *billet steel*, *rail steel*, atau batang *axle steel* ulir.

Alternatifnya ialah bisa menggunakan ASTM A 615 untuk *billet steel*, dan ASTM A 996 untuk rail dan batang ulir *axle steel*.

Persyaratan kuat leleh dari tulangan untuk CRCP umumnya 420 MPa, atau *English Grade 60 (metric Grade 420)*. Grade baja yang lebih tinggi digunakan di Negara Eropa dan di beberapa Negara Amerika. Perlu dicatat meskipun grade baja lebih tinggi memungkinkan penggunaan baja yang lebih sedikit untuk menjaga retak tetap rapat, hal ini tidak benar sepanjang modulus elastic dari baja tetap tidak berubah.

Penggunaan carbon pada baja yang tinggi umumnya menaikkan kekuatannya, tetapi sering tanpa perubahan modulus *elastic* yang berarti yang akan mengontrol lebar retak. Modulus *elastic* tulangan umumnya diminta 200.000 MPa

Pola retak tergantung pada perbedaan antara perubahan *volumetric* akibat temperatur pada baja dan beton. AASHTO 86/93 menyarankan untuk perencanaan penggunaan baja dengan *coefficient thermal expansion* (CTE) 9×10^{-6} m/m/°C.

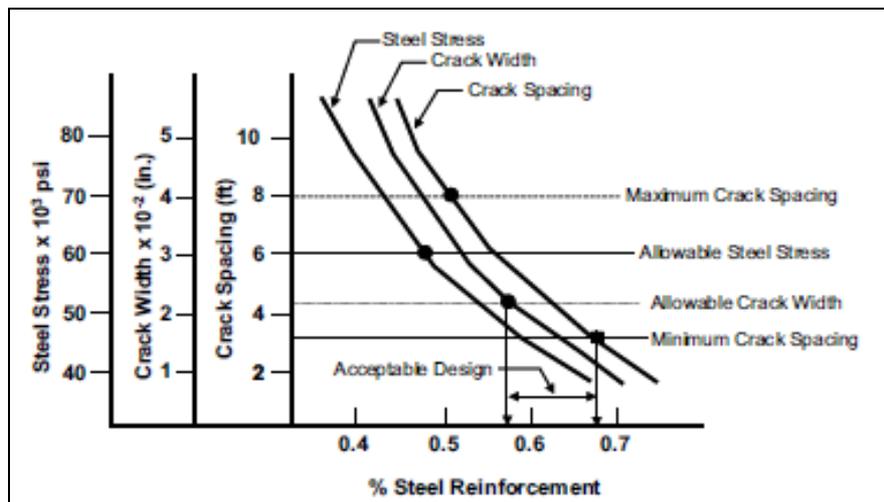
Akan tetapi AASHTO Interim MEPDG menyarankan CTE antara $11 - 12 \times 10^{-6}$ m/m/°C.

4.5 Tulangan Memanjang

Federal Highway Administration dan CRSI dalam *Continuously Reinforced concrete pavement. Design and construction*, menyampaikan tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus dengan tulangan sebagai berikut "Perencanaan tulangan, difokuskan pada minimum tulangan yang diperlukan untuk memberikan jarak dan lebar retak yang diinginkan, dan pada saat yang bersamaan tetap menjaga agar tegangan baja pada tingkat yang masih bisa diterima".

4.5.1 Jumlah Tulangan

Jumlah tulangan dinyatakan sebagai perbandingan antara luas penampang tulangan terhadap luas penampang melintang beton, yang dinyatakan dengan A_s/A_c dalam %. Jumlah tulangan yang tinggi, akan menghasilkan jarak retak yang lebih pendek, lebar retak yang lebih kecil, dan tegangan baja yang lebih rendah, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Peningkatan jumlah tulangan memanjang, akan menghasilkan peningkatan tahanan.



Gambar 4.5 Konsep perencanaan tulangan pada CRCP

Ketika tahanan meningkat, jumlah retakan berkembang, menghasilkan jarak retakan yang lebih pendek. Selanjutnya ketika jumlah tulangan meningkat, rata-rata tegangan pada baja menurun, menghasilkan perpanjangan baja yang lebih kecil.

Sebelumnya telah disampaikan, bahwa jarak retakan antara 1,1 sampai 2,4 meter akan meminimalkan potensi *punchout* dan *spalling*. Tetapi dari hasil pengamatan di lapangan bahwa jarak retak yang lebih kecil sebesar 0,6 meter telah menunjukkan kinerja yang cukup baik, sepanjang lapisan bawahnya baik. Lebar retak 0,6 mm mencegah masuknya air dan benda

padat, serta menjamin efisiensi penyaluran beban yang lebih baik antara retak dan tegangan akibat beban. Selanjutnya, mempertahankan tegangan pada baja pada tingkat yang diinginkan, meminimalkan putusnya baja atau leleh yang berlebihan yang bisa menjadikan retak lebih lebar dengan efisiensi penyaluran beban yang jelek. Tulangan memanjang harus direncanakan agar memenuhi tiga criteria berikut:

1. Menghasilkan jarak retakan yang diinginkan
2. Retak melintang agar tetap rapat
3. Tegangan pada baja tetap berada pada tegangan izinnya.

Penting untuk dipertimbangkan pengaruh penambahan ketebalan terhadap kinerja CRCP. Pada CRCP penambahan ketebalan pelat (dengan jumlah tulangan yang tetap) menghasilkan persentase tulangan yang lebih kecil, yang bisa menghasilkan jarak retak yang lebih besar, retakan yang lebih lebar, dan meningkatnya tegangan pada bajanya.

Pedoman umum untuk baja ulir konvensional, persentase tulangan antara 0,6% sampai 0,8% telah menunjukkan pola retak yang dapat diterima. Prosentase tulangan minimum 0,6% direkomendasikan karena penulangan yang lebih rendah akan menghasilkan lebar retak melintang yang lebih besar, jarak retak yang lebih besar, dan tegangan yang tinggi pada baja.

Di sisi lain, penulangan yang lebih besar dari 0,8% bisa menghasilkan jarak retak yang pendek dan mengakibatkan terjadinya *punchout*, khususnya bila daya dukung bawahnya jelek. Rekomendasi batas jumlah penulangan ini didasarkan pada tipikal sifat bahan, serta kondisi lingkungan yang ada di Amerika - khususnya di negara bagian utara yang mempunyai temperatur ekstrem yang besar.

Perlu diingat bahwa ada prosentase tulangan yang optimum untuk suatu proyek, berdasarkan kondisi lingkungan dan material yang akan digunakan. Perlu diingat sekali lagi bahwa persentase tulangan yang rendah akan menghasilkan jarak retakan yang besar berdampingan dengan jarak retakan

yang pendek, dimana jarak retakan yang pendek memungkinkan terjadinya *punchout*.

4.5.2 Ukuran dan Jarak Tulangan

Tulangan memanjang umumnya direncanakan untuk memenuhi ruang minimum untuk mencapai konsolidasi yang baik dari beton saat pengecoran.

Ruang maksimum juga dipertimbangkan untuk tercapainya kekuatan ikatan beton yang menghasilkan retakan yang rapat. FHWA *Technical Advisory T 5080.14* memberikan pedoman untuk jarak minimum dan maksimum dari tulangan baja sebagai berikut:

Jarak tulangan memanjang minimum lebih besar dari 4 inchi (100 mm) atau 2,5 kali ukuran agregat maksimum. Jarak tulangan memanjang maksimum tidak lebih besar dari 9 inchi (230 mm). Ukuran tulangan untuk CRCP umumnya dari no. 4 (0,5 in) sampai no 7 (0,876 in). Pemilihan diameter tulangan ditentukan oleh persentase tulangan serta jarak maksimum dan minimum yang diijinkan.

Jarak tulangan "S" dihitung sebagai berikut:

$$S = \frac{\Phi \cdot 2 \cdot \pi}{4 \cdot D \cdot ps} \cdot 100 \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.9}$$

- Dengan ,
- S = Jarak tulangan (in atau mm)
 - Φ = Diameter tulangan (in atau mm)
 - D = Tebal pelat (in atau mm)
 - ps = Persentase tulangan memanjang (pecahan), dan
 - π = 3,141593

Disarankan jarak tulangan yang dihitung dengan rumus di atas, ialah jarak maksimum guna memenuhi prosentase tulangan memanjang yang

diinginkan. Jika jarak ini perlu disesuaikan, dikerjakan dengan pembulatan ke bawah untuk jarak yang praktis sesuai geometrik perkerasan.

Gambar 4.6 memberikan rekomendasi jarak tulangan untuk berbagai tebal pelat dan ukuran tulangan sebagai fungsi dari prosentase tulangan.

| | | Reinforcement Spacing (for one layer of bars) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|-------|
| | | 15.3 (48) | | | | | 19.1 (48) | | | | | 22.2 (47) | | | | 25.4 (48) | | | | |
| | | 127 (5) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 127 (5) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | |
| Pavement Slab Thickness, mm (in) | Bar Size, mm (Bar no.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spacing, mm (in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 203 (8) | 0.77% | 0.54% | 0.55% | | | 0.82% | 0.78% | 0.69% | 0.51% | | | | 0.94% | 0.84% | | | | | |
| | 229 (9) | 0.88% | 0.57% | | | | 0.86% | 0.82% | 0.70% | 0.61% | | | | 0.99% | 0.84% | 0.74% | | | 0.87% | |
| | 254 (10) | 0.81% | 0.51% | | | | 0.86% | 0.74% | 0.63% | | | | 1.00% | 0.88% | 0.78% | 0.67% | | | 0.98% | 0.87% |
| | 279 (11) | 0.95% | | | | | 0.86% | 0.87% | 0.57% | | | | 0.91% | 0.78% | 0.68% | | | | 0.99% | 0.78% |
| | 292 (11.5) | 0.83% | | | | | 0.77% | 0.64% | | | | | 0.87% | 0.75% | 0.65% | | | 0.86% | 0.82% | 0.75% |
| 305 (12) | 0.51% | | | | | 0.74% | 0.61% | | | | | 0.84% | 0.72% | | | | 0.82% | 0.82% | | |
| 330 (13) | | | | | | 0.86% | 0.57% | | | | | 0.77% | 0.66% | | | | 1.01% | 0.86% | 0.76% | |
| | | Reinforcement Spacing (for two layers of bars) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 15.3 (48) | | | | | 19.1 (48) | | | | | 22.2 (47) | | | | 25.4 (48) | | | | |
| | | 127 (5) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 127 (5) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | 152 (6) | 178 (7) | 203 (8) | 229 (9) | |
| Pavement Slab Thickness, mm (in) | Bar Size, mm (Bar no.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spacing, mm (in) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 0.88% | 0.73% | 0.83% | 0.55% | | | 1.05% | 0.80% | 0.70% | 0.70% | | | | | 1.00% | 0.88% | | | |
| | 15 | 0.82% | 0.56% | 0.58% | 0.51% | | 1.16% | 0.86% | 0.64% | 0.74% | 0.55% | | | 1.00% | 0.88% | | | | | |
| 14 | 0.88% | 0.73% | 0.83% | 0.55% | | | 1.05% | 0.80% | 0.70% | 0.70% | | | | | 1.00% | 0.88% | | | | |
| 15 | 0.82% | 0.56% | 0.58% | 0.51% | | 1.16% | 0.86% | 0.64% | 0.74% | 0.55% | | | 1.00% | 0.88% | | | | | | |

Gambar 4.6 Rekomendasi jarak penulangan

Pertimbangan lainnya ketika memilih ukuran tulangan ialah luas permukaan tulangan. Telah diamati bahwa jarak retak berkurang sejalan dengan naiknya perbandingan antara luas permukaan tulangan terhadap volume beton. Penjelasan mengenai hal ini, ialah tegangan tarik yang tinggi pada baja di daerah retak ditransfer kepada beton sebagai fungsi dari luas permukaan dan sifat deformasi dari tulangan memanjang. Di sisi lain, semakin besar luas bidang ikatan, semakin besar tahanan pergerakan dari beton yang diakibatkan oleh tulangan, dan karenanya, retak yang lebih rapat diharapkan bisa terjadi.

Untuk persentase tulangan tertentu, luas permukaan yang lebih besar akan dicapai dengan menggunakan ukuran tulangan yang lebih kecil, di mana hal ini harus dipertimbangkan pula. Berdasarkan alasan ini, perbandingan antara luas permukaan tulangan terhadap volume beton R_b , umumnya dikontrol dalam menentukan pengaruh ukuran tulangan. Perbandingan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 4.10 di bawah ini:

$$R_b = \frac{\Phi^2 \pi}{4 S D} \quad (\text{in}^2 / \text{in}^3 \text{ atau } \text{m}^2 / \text{m}^3) \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.10}$$

Dengan R_b = perbandingan luas permukaan tulangan terhadap volume beton

Φ = diameter tulangan (in atau mm)

π = 3,141593

S = jarak tulangan (in atau mm)

D = Tebal pelat (in atau mm)

Minimum R_b yang direkomendasikan ialah $1,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ untuk pelaksanaan pada musim panas, dan $1,6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ untuk pelaksanaan pada musim gugur atau dingin.

4.5.3 Posisi Vertikal dari Penulangan

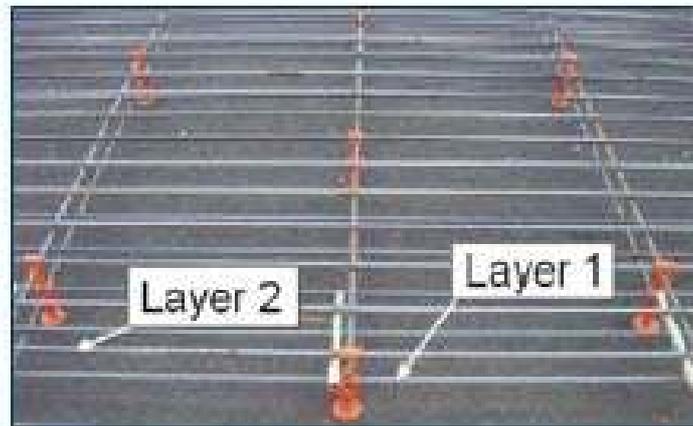
Ada dua pertimbangan ketika memilih posisi vertikal dari tulangan memanjang. Di satu sisi, susut akibat pengeringan dan fluktuasi temperatur lebih nyata pada permukaan perkerasan, dan bisa menghasilkan retak yang lebih lebar di tempat ini. Diyakini, dengan menempatkan tulangan dekat ke permukaan, lebar retak yang lebih sempit dan efisiensi penyaluran beban yang lebih tinggi, akan dicapai.

Di sisi lain, penempatan tulangan yang dekat ke permukaan menaikkan kemungkinan terhadap *chloride* dari garam pada pembekuan es (*deicing salts*), yang akan menimbulkan korosi. *Diamond grinding* dikemudian hari pada permukaan perkerasan, akan mengurangi jarak penulangan terhada

permukaan perkerasan. Berdasarkan dua pertimbangan tadi, umumnya posisi dari tulangan terletak antara $1/3$ sampai $1/2$ tebal pelat diukur dari permukaan perkerasan.

Dalam menyediakan selimut beton yang memadai, umumnya disarankan kedalaman letak tulangan paling sedikit dua kali dari ukuran agregat maksimum. *Illionis DOT* menyarankan minimum kedalaman tulangan 3,5 inches (8,9 cm) dari permukaan perkerasan ke bagian atas tulangan memanjang untuk meminimalkan korosi dan mengakomodir variasi pada prosedur pelaksanaan.

Juga direkomendasikan bahwa maksimum letak tulangan tidak lebih dari setengah tebal pelat diukur dari permukaan perkerasan. Pada gambar 4.7, diperlihatkan penulangan dua lapis juga digunakan, Hal ini dilaksanakan pada spesifikasi Tx DOT untuk perkerasan dengan tebal lebih dari 13 in (330 mm).



Gambar 4.7 Penulangan dua lapis

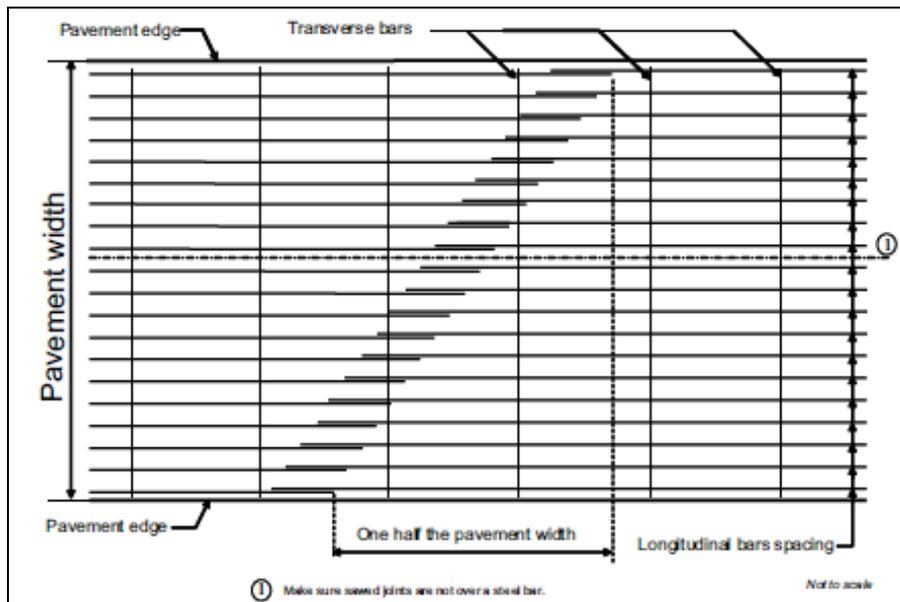
Berdasarkan pengujian lapangan jangka panjang di Illionis, dan proyek lainnya di Belgia serta tempat tempat lainnya, kedalaman tulangan berpengaruh besar terhadap lebar retak. Semakin tinggi letak tulangan,

semakin rapat lebar retak melintangnya. Segmen perkerasan di Illionis dengan tulangan di tengah tebal pelat telah banyak mengalami perbaikan full depth (*full depth repair*) dari pada dengan tulangan yang diletakkan diatas tengah ketebalan pelat selama periode 20 tahun. Illionis menyarankan selimut tulangan beton 3,5 in (89 mm). Perkerasan CRCP yang sangat berhasil di Belgia juga menempatkan tulangan di atas tengah tengah tebal pelatnya.

4.5.4 Panjang Penyaluran (*Lap Splices*)

Panjang penyaluran penting, dimaksudkan untuk mempertahankan kesatuan tulangan. Gaya yang disebabkan oleh temperatur dan pergerakan susut pada baja dialihkan melalui panjang penyaluran dari satu batang ke batang lainnya melalui ikatan beton disekitarnya kepada kedua batang tersebut. Panjang penyaluran minimum sangat penting untuk menjamin penyaluran beban yang memadai. Ketidaksempurnaan perencanaan dan atau pelaksanaan dari panjang penyaluran bisa menimbulkan kerusakan pada tulangan dan kinerja yang tidak baik pada CRCP, yang akhirnya memerlukan pemeliharaan yang mahal.

Pola penyaluran diperlihatkan pada Gambar 4.8. Efektifitas dari penyaluran terletak pada pencapaian panjang ikatan antara beton dan tulangan. Perhatian khusus harus diberikan terjaminnya, bahwa beton mencapai kuat lekat yang cukup selama masa awal yang kritis. Hal ini khususnya penting pada pelaksanaan musim dingin, ketika peningkatan kekuatan beton berada pada tingkat yang rendah.



Gambar 4.8 Tipikal pola sambungan baja dengan sistim miring (melintang perkerasan)

Pedoman panjang penyaluran bervariasi di setiap Negara, antara 25 sampai 33 kali diameter tulangan. Beberapa Negara lain antara 16 dan 20 in (406 dan 508 mm). Hasil percobaan mengenai panjang penyaluran, menunjukkan panjang penyaluran 33 kali diameter tulangan memberikan kinerja yang baik.

FHWA *Technical Advisory* T 5080.14 menyarankan minimum panjang penyaluran 25 kali diameter tulangan jika pola penyaluran berbentuk "bersambung bergiliran" atau "miring". Untuk pola penyaluran "bersambung bergiliran" (*staggered*), tidak lebih dari sepertiga tulangan berakhir dalam bidang penyaluran yang sama. Selanjutnya jarak minimum antara staggers adalah 4 ft (1.2 meter).

Untuk pola sambungan "miring" sudut kemiringan paling kecil 30° dari garis tegak lurus terhadap sumbu jalan (*centerline*). Praktisnya bentuk dari sambungan penyaluran miring dibuat dengan kemiringannya setengah dari

lebar perkerasan (lihat gambar 4.8). Dalam segala hal, disarankan panjang penyaluran tidak kurang dari 16 in (406 mm).

4.5.5 Perlindungan Terhadap Korosi

Beberapa negara bagian di Amerika memerlukan *epoxy* pada tulangan CRCP untuk mencegah korosi, khususnya di daerah urban di mana pemeliharaan dan rehabilitasi tidak diperhatikan. Hal ini, juga dibenarkan untuk daerah dimana pengaruh *chloride* dari “*deicing salts*” cukup tinggi atau umur rencana lebih dari 50 tahun serta telah dilaporkan adanya masalah korosi.

Korosi pada tulangan dalam CRCP jarang dilaporkan, dan biasanya ditandai dengan tidak cukupnya tulangan yang menghasilkan retak lebar.

Perencana perlu membuat tulangan yang cukup, agar lebar retak tetap sempit dan letak kedalaman tulangan yang cukup. Hal ini, membantu pencegahan dari pengaruh *chloride* dari “*deicing salts*”. Selanjutnya, tambahan tulangan pada waktu perencanaan bisa dilakukan, guna mengatasi masalah akibat korosi.

Dalam hal di mana pemberian *epoxy* pada tulangan dilakukan, harus memperhitungkan pengaruh ikatan antara tulangan yang di-*epoxy* dengan lekatan. FHWA dalam *Technical Advisory* TA 5080.14 menyarankan penambahan bidang ikatan sebesar 15% bila *epoxy* dipergunakan. Namun beberapa studi menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara tulangan yang diberi dan tanpa *epoxy* dalam pola retak yang terjadi.

4.6 Penulangan Melintang

Penulangan melintang pada CRCP, mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut:

1. Berfungsi sebagai *tie bars* yang melintas sambungan memanjang (jika menerus)
2. Untuk mengantisipasi retak memanjang yang tidak direncanakan (yang mungkin disebabkan oleh penggergajian yang terlalu dangkal, penggergajian yang terlambat, perbedaan penurunan, atau jembul (*heave*)).
3. Sebagai penyangga tulangan memanjang (guna menjamin jarak dan kedalaman tulangan sesuai persyaratan, jika tidak digunakan penempatan tulangan memanjang secara mekanis)

Illionis dan *Texas*, yang banyak menggunakan CRCP, memasang tulangan melintang- di *Illionis* di urban area sedang di *Texas* di seluruh area. Untuk jalan dengan lebar lebih dari 7 meter disarankan untuk menggunakan penulangan melintang yang menerus dengan sambungan ekspansi (*expansion joint*) di samping “beton pengatur lalu lintas” (*concrete traffic barrier*).

4.6.1 Ukuran dan Jarak Tulangan Melintang

Perencanaan tulangan didasarkan pada tahanan lapisan pondasi dan gaya akibat penyusutan beton. Persentase tulangan melintang dihitung dengan rumus di bawah ini:

$$pt = \frac{\gamma_c W_s F}{2f_s} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.11}$$

dengan : pt = prosentase tulangan melintang (terhadap luas pen, beton)

γ_c = berat isi beton (lb/cu. In atau kN/m³)

W_s = lebar total perkerasan (in atau m)

F = koefisien gesek (tanpa satuan)

f_s = tegangan kerja baja (75% dari tegangan leleh) (psi atau kPa)

Koefisien gesek berbagai lapisan pondasi diperlihatkan pada Tabel 4.23

Setelah didapat persentase tulangan melintang, maka jarak dan ukuran diameter tulangan ditentukan dengan rumus berikut:

$$Y = \frac{\Phi \cdot n}{4 \cdot p \cdot D} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.12}$$

- Dengan Y = jarak tulangan melintang (in atau mm)
 Φ = diameter tulangan (in atau mm)
 D = tebal pelat (in atau mm)

Tipikal tulangan melintang yang disarankan ialah tulangan ulir dengan diameter # 4 sampai # 6 (12,7 sampai 19,1 mm) grade 60 (*grade 420*). Umumnya tulangan melintang berjarak 0,3 meter sampai 0,9 meter.

Prosedur penulangan dengan cara ini, termasuk konservatif, karena tegangan baja yang terbesar terjadi pada sambungan yang diikatkan dan tengah pelat serta terus turun menjadi nol di tepi pelat yang bebas.

Tulangan melintang bisa berfungsi juga sebagai “*tiebars*” jika menerus melewati sambungan. Dalam hal ini, tulangan melintang diperpanjang dengan setengah dari panjang tiebars yang diperlukan melintasi sambungan memanjang. Contohnya, bila lebar perkerasan 7,2 meter (24 ft), dan penulangan melintang direncanakan 3,6 meter (12 ft), maka tulangan ini diperpanjang melewati sambungan dengan tambahan setengah panjang *tie bars*.

Letak tulangan melintang, diletakan di bawah tulangan memanjang, karena dimaksudkan juga sebagai penyangga tulangan memanjang.

Tabel 4.6 Koefisien gesekan untuk berbagai bahan pondasi

| Jenis bahan di bawah pelat | Faktor gesekan (F) |
|---|--------------------|
| Surface treatment | 2,2 |
| Lime Stabilization / stabilisasi kapur | 1,8 |
| Asphalt stabilization / stabilisasi aspal | 1,8 |
| Cement stabilization / stabilisasi semen | 1,8 |

| Jenis bahan di bawah pelat | Faktor gesekan (F) |
|-------------------------------------|--------------------|
| River gravel / kerikil sungai | 1,5 |
| Crushed stone / batu pecah | 1,5 |
| Standstone / batu pasir | 1,2 |
| Natural subgrade / tanah dasar asli | 0,9 |

4.7 Tie Bars (Ruji)

Tiebars, digunakan sepanjang sambungan memanjang antara lajur dengan lajur atau lajur dengan bahu (beton), bila penghamparan lajur dilakukan terpisah, untuk menjaga sambungan tetap rapat dan menjamin penyaluran beban yang memadai.

Keperluan tulangan *tiebars* ditentukan dengan cara yang sama seperti pada tulangan melintang, tapi disini panjang perkerasan untuk analisis, ialah panjang antara sambungan yang diikat ke tepi perkerasan yang bebas.

Persentase tulangan *tie bar* (persentase), ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_t = \frac{YWF}{f} 100 \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.13}$$

Dengan:

- P_t = Persentase tulangan *tie bar*
- Y = Berat satuan beton (lb/in³ atau Kn/m³)
- W = Jarak terdekat antara *tie bar* dengan tepi yang bebas (in atau m)
- F = Koefisien gesek
- F = Tegangan yang bekerja pada baja (75% dari tegangan leleh)

Sedangkan panjang *tie bar* yang diperlukan, dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$t = 0,5 \frac{f_{ax} Q}{f_b} + l_a \dots\dots\dots \text{Persamaan 4.14}$$

Dengan:

t = Panjang *tie bar* (in atau mm)

Q = Diameter tulangan (in atau mm)

f_s = Tegangan kerja pada baja (75 % tegangan leleh, psi atau Mpa)

f_b = Tegangan lekat yang diizinkan

l_a = Tambahan panjang untuk misalignment (75 mm)

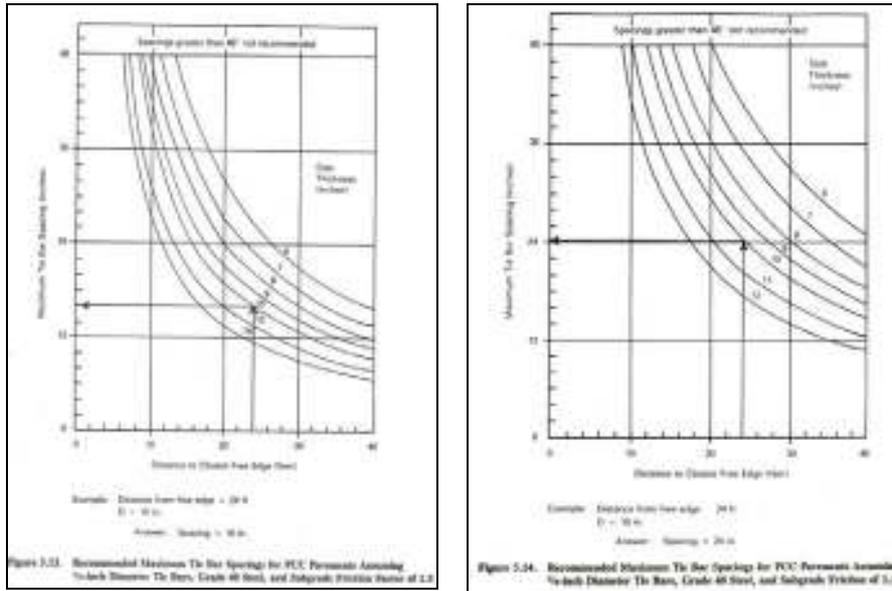
Umumnya tulangan baja untuk *tie bar* yang digunakan, ialah baja dengan mutu *Grade 40* atau *Grade 60* (*Grade 300* atau *Grade 420*). Panjang *tie bar* yang umum diproduksi ialah 24; 30; 36; 42; dan 48 inci, sedangkan maksimum jarak tie bar 48 inchi (1,22 m).

Pada perkerasan yang lebar, lebih ekonomis untuk menyediakan sambungan memanjang yang tidak terikat (*untided*) dari pada memperpanjang tulangan melintang dari lebar perkerasan tersebut. Caltrans menyarankan dua lajur tetapi tidak lebih dari 15.2 meter antara sambungan yang tidak diikat (*untided joint*).

Sambungan ekspansi yang berdekatan dengan *barier* beton untuk pengaturan lalu lintas, tanpa dilengkapi dengan penyalur beban, umumnya dipergunakan untuk mencegah terjadinya retak memanjang yang tidak terkontrol. Bila *tiebar* diberi *epoxy*, *bending* (lenting) akan membuat kerusakan pada epoxy, dan mengakibatkan terjadinya erosi.

Beberapa instansi yang menangani jalan, menuntut penggunaan beberapa batang *tie bars* (*multiple tie bars*). Tipe ini terdiri dari dua batang dan kemudian disatukan. *Tie bar* yang pertama di pasang pada perkerasan beton sebelum lajur yang sebelahnya dikerjakan kemudian *tie bar* yang satunya di bautkan (*screwed*) di tempat untuk membuat *tie bar* yang komplit. *Multiple tie bar* harus merujuk pada ketentuan ASTM A 615 dan kekuatan batas dari *coupler* antara 1,25 sampai 1,5 kali kekuatan leleh baja. Metode lain, ialah mengebor dan memberi lapisan *epoxy* pada *tie bar* dan perlu diuji kuat tariknya (*pull – out test*) sebagaimana yang disebut pada ASTM E 488.

Jarak antarbatang *tie bar*, dapat ditentukan dengan menggunakan grafik-grafik di bawah ini, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik penentuan jarak ruji (*Tie bar* untuk diameter ruji ½” dan ¾”)

4.8 Dowel dan *Tie Bar* menurut Ketentuan Austroad

Ukuran dowel menurut ketentuan dari Austroad, disajikan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Minimum Ukuran Diameter Dowel untuk Perkerasan Beton

| Tebal pelat rencana (D) (mm) | Diameter dowel (mm) |
|------------------------------|---------------------|
| 125 < D ≤ 160 | 24 |
| 160 < D ≤ 200 | 28 |
| 200 < D ≤ 250 | 32 |
| D > 250 | 36 |

Batang Pengikat

Batang pengikat mencegah pemisahan dari perkerasan pada sambungan memanjang, tetapi masih mengizinkan *warping* atau *curling* tanpa regangan yang besar. Perencanaan dan integrity jangka panjang adalah yang sangat paling penting, sebab kerusakannya akan menciptakan kondisi pembebanan “ tanpa bahu “ yang bisa mereduksi umur rencana sampai 50%.

Batang pengikat umumnya berdiameter 12 mm, grade 500 N dan berupa baja ulir, dengan panjang 1 m, yang dipasang di tengah tengah tebal pelat. Jaraknya ditentukan berkaitan dengan parameter seperti tebal pelat, gesekan antar lapisan, dan jarak terdekat ke tepi perkerasan yang bebas.

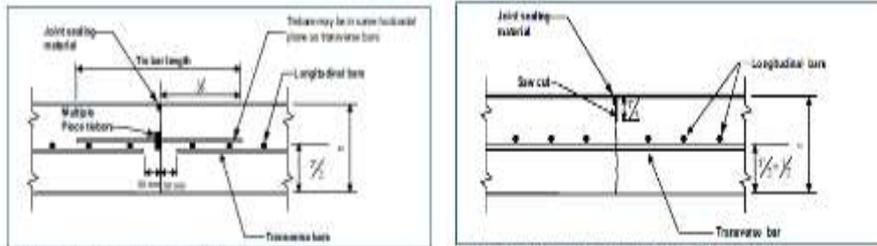
4.9 Sambungan

Perkerasan beton menerus (CRCP) tidak memerlukan sambungan melintang seperti pada perkerasan beton bersambung, tetapi sambungan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan masih tetap diperlukan. Sambungan memanjang diperlukan antara lajur atau antara lajur dan bahu beton. Sambungan melintang juga diperlukan untuk pelaksanaan pada saat mulai dan akhir pekerjaan pada setiap harinya. Sambungan transisi atau sambungan terminal juga diperlukan pada sambungan dengan beberapa jenis bangunan atau jenis perkerasan lainnya.

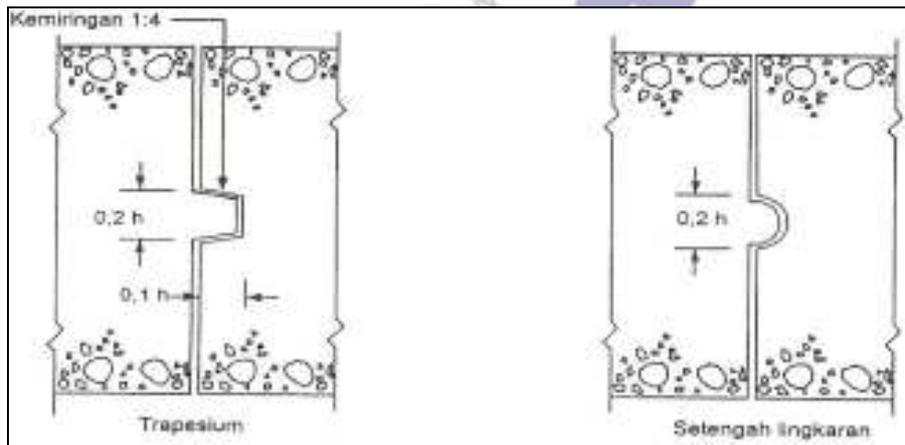
4.9.1 Sambungan Memanjang

Sambungan memanjang disarankan bila lebar perkerasan lebih dari 4,6 meter. Batang pengikat (*Tie bar*) atau batang tulangan melintang harus dipasang pada sambungan untuk mencegah pemisahan, dan untuk menjaga efisiensi penyaluran sambungan yang memadai. Dua jenis sambungan memanjang yang umum pada perkerasan beton menerus dengan tulangan, ialah: sambungan pelaksanaan dan sambungan susut.

Sambungan memanjang di perlihatkan pada Gambar 4.10, bila pelaksanaan beton lebih dari satu kali penghamparan. Pada masa lalu, disarankan membentuk lidah alur berupa trapesium atau setengan lingkaran sepanjang sambungan tersebut, untuk meningkatkan efisisensi penyaluran beban. Akan tetapi, beberapa lidah alur mengalami kerusakan akibat gaya geser yang menghasilkan gompalan sepanjang sambungan. Selain itu daerah sepanjang lidah alur mengalami masalah dengan konsolidasi dari betonnya sendiri. Karena itu disarankan menggunakan sambungan dengan ikatan.



Gambar 4.10 Metode sambungan memanjang yang disarankan

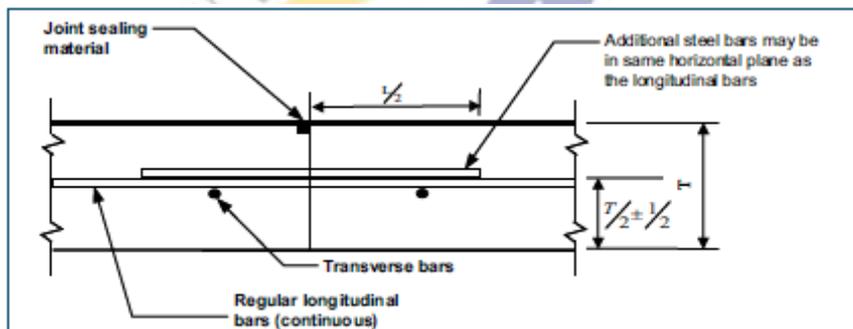


Gambar 4.11 Metode sambungan memanjang yang tidak disarankan

Sambungan susut memanjang, ditunjukkan pada gambar 4.10(b). Guna menjamin retak memanjang pada perkerasan yang lebar terjadi sepanjang bidang yang diperlemah, sambungan susut melintang di sini dilakukan dengan menggergaji pada tempat tertentu untuk menghilangkan tegangan yang timbul pada arah melintang dari beton akibat perubahan volumetrik.

4.9.2 Sambungan Pelaksanaan Melintang

Sambungan pelaksanaan melintang dibuat pada awal dan akhir pekerjaan setiap hari atau pada saat dimana terjadi pemberhentian penghamparan yang cukup lama (sambungan dingin) Gambar 4.11 memperlihatkan sambungan pelaksanaan melintang. Luas tulangan pada sambungan minimum harus 1%, dan dibuat dengan menambahkan penulangan tambahan sepanjang sambungan tersebut. Besi ulir dengan ukuran dan mutu yang sama dengan tulangan memanjang, dengan panjang 1,8 meter biasanya digunakan pada sambungan pelaksanaan melintang ini. *Tie bar* ini diletakkan di antara tulangan memanjang. Tambahan tulangan ini dimaksudkan untuk membantu menahan kenaikan tegangan geser dan lentur pada sambungan, dan untuk membantu peningkatan luas bidang ikat yang dibutuhkan selama beberapa hari pertama setelah pelaksanaan, sebelum beton mencapai kekuatan yang memadai.



Gambar 4.12 Sambungan melintang

Sambungan tulangan yang letaknya antara 0,9 meter sebelum sambungan pelaksanaan, atau berada dalam 2,4 meter di depan sambungan (searah dengan arah lalu lintas) pelaksanaan, harus juga diperkuat. Untuk hal ini, disarankan panjang penyaluran dibuat dua kali dari panjang normal, atau ditambah dengan batang ulir lainnya yang panjangnya 1,8 meter dengan ukuran yang sama seperti pada tulangan memanjang.

Hal yang penting lagi bagi sambungan pelaksanaan melintang ialah beton dengan mutu yang tinggi pada kedua ujung sambungan. Pengalaman menunjukkan, banyak sambungan pelaksanaan melintang yang mengalami kerusakan, akibat pemadatan beton yang tidak baik.

4.9.3 Sambungan Transisi atau Sambungan Terminal

Dua jenis sambungan yang umum pada perkerasan menerus dengan tulangan guna mencegah pergerakan yang berlebihan, ialah angker terminal ujung (*terminal end anchors*) dan balok *flange* lebar dari besi. *Terminal end anchors* digunakan untuk menahan pergerakan sedangkan *wide – flange beam* efektif untuk mengakomodasi pergerakan.

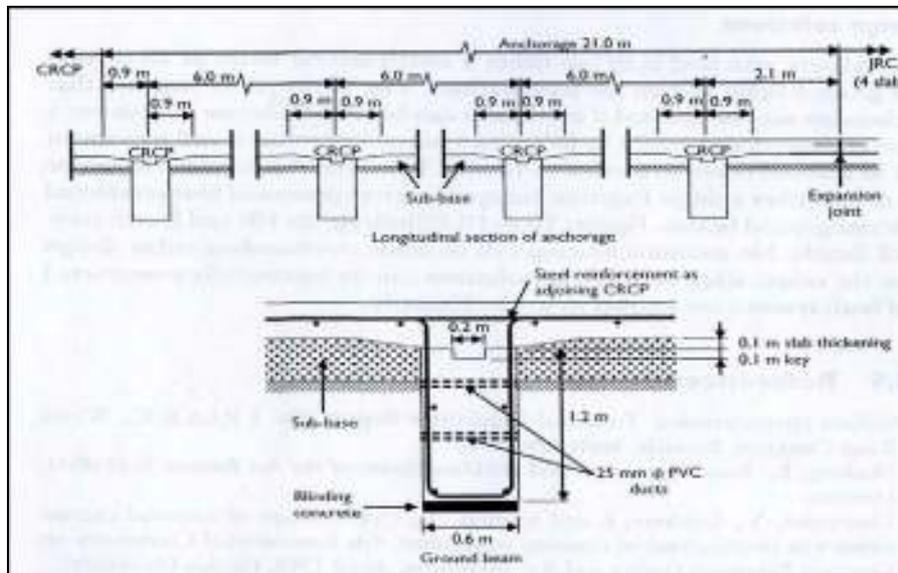
4.9.3.1 Angkur Balok Ujung (*Terminal End Anchors*)

Angkur ujung awalnya dibuat untuk menahan pergerakan pada perkerasan beton bersambung. Penggunaan jenis ini dilakukan juga pada perkerasan beton menerus dengan tulangan.

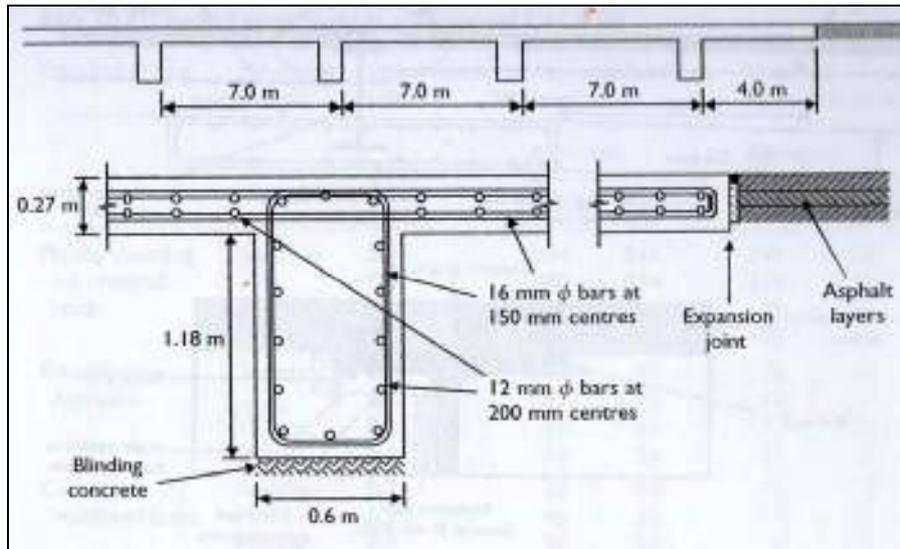
Angkur ujung dilaksanakan dengan membuat balok balok beton di bawah perkerasan yang diangkerkan pada tanah, untuk menahan pergerakan perkerasan beton menerus dengan tulangan. Dalamnya balok beton tergantung pada jenis dan kondisi tanah. Tanah dengan kekakuan yang rendah dan mempunyai ketahanan terhadap pergerakan yang rendah pula,

sebaiknya tidak mempergunakan “Terminal end anchor” . Gambar standar terminal end anchors ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13

Tanpa memandang panjang perkerasan beton menerus dengan tulangan, bagian utama perkerasan ditahan oleh lapisan *base* dan tidak ada perubahan panjang, kecuali pada beberapa puluh atau ratus meter terakhir (300 – 400 ft atau 90 -120 m).



Gambar 4.13 Gambar rinci dari terminal end anchor (angkur balok ujung - Inggris)



Gambar 4.14 Gambar rinci dari *terminal end anchor* (angkur balok ujung – Belanda)

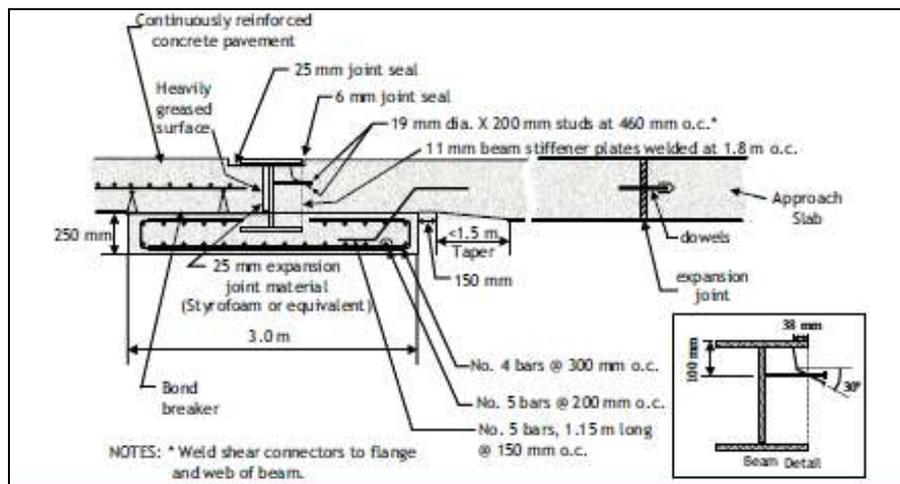
4.9.3.2 *Wide Flange Joints*

Sambungan *wide flange* menyediakan ruangan untuk pergerakan perkerasan beton menerus dengan tulangan dan juga menyediakan penyalur beban. Gambar 4.14 menunjukkan gambar rinci dari sambungan *wide flange joint*. Sambungan ini umumnya dibentuk dengan menyiapkan pelat *sleeper* bertulang dengan panjang 3 meter dan tebal 25 cm yang digunakan untuk mendukung batas ujung dari perkerasan.

Sambungan *wide flange* dimasukkan kedalam *sleeper* sedalam 5 sampai 6 inci (127 – 152 mm) sehingga bagian atas *flange* rata dengan permukaan perkerasan beton. Bahan sambungan yang kompresibel seperti *polystyrene* dipasang dibagian dalam *web beam*, yang bersebelahan dengan perkerasan beton menerus dengan tulangan, untuk memungkinkan pemuaian. Selanjutnya, pemecah ikatan (*bond breaker*) dipasang dibagian atas pelat *sleeper* untuk memungkinkan bagian ujung perkerasan bergerak bebas. Pelat *sleeper* perlu pondasi yang kuat, agar tidak miring salah satu sisinya.

Disarankan *wide beam* diberi lapisan anti korosi. Untuk memberikan ruangan bagi pemuaian tambahan, satu atau lebih pelat dengan sambungan muai yang diberi dowel dibuat di antara sambungan transisi dari perkerasan beton menerus dengan tulangan dan pelat pendekat jembatan.

Pada masa lalu telah terjadi kerusakan dini pada sambungan *wide flange*, yaitu berupa pemisahan antara *flange* bagian atas dengan *web*-nya. Karena itu, sekarang disarankan dipasang batang konektor yang dilas kepada bagian *flange* atas, guna mencegah kerusakan tersebut. Rekomendasi ukuran *wide flange beam* untuk berbagai tebal pelat perkerasan diperlihatkan pada Tabel 4.26.



Gambar 4.15 Gambar rinci dari sambungan *Wide Flange*

Tabel 4.8 *Wide Flange (WF) Beam* (berat dan ukuran)

| Tebal pelat in - (mm) | Bagian yang masuk pada sleeper slab | Ukuran x berat dalam inx lb/ft (mm x kg/m) | Lebar flange in (mm) | Tebal flange in (mm) | Tebal web in (mm) |
|-----------------------|-------------------------------------|--|----------------------|----------------------|-------------------|
| 8 (203) | 6 (152) | 14 x 61 (356 x 91) | 10 (254) | 5/8 (16) | 3/8 (9,5) |
| 9 (229) | 5 (127) | | | | |
| 10 (254) | 6 (152) | 16 x 58 (406 x 86) | 8,5 (216) | 5/8 (16) | 3/8 (9,5) |
| 11(279) | 5 (127) | | | | |

Pengamatan yang telah dilakukan FHWA, menunjukkan bahwa kerusakan berupa gompal dan *faulting*, pada sambungan transisi dengan tipe sambungan *wide flange beam*, lebih sedikit dari pada sambungan dengan jenis *end anchors*.





DAFTAR PUSTAKA

- A.M.Neville, Properties of concrete,4th and final edition, Pearson –Prentice hall,2002
- Affandi,F.Pengaruh penyimpangan ketebalan dan mutu pelat beton pada perkerasan beton semen (perkerasan kaku);Jurnal Litbang Jalan. Volume 21 No 1, . 2004
- American Association of State Highway and Transportation Officials, Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998, ISBN 1- 56051-078-1.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide for Design of Pavement Structures , American Association of State Highway and Transportation Offices,1993
- Austroroad, Guide to pavement technology ; Part 2: Pavement Structural Design ; February 2010; Published by Austroroad Incorporated ; Level 9, Robell House, 287 Elizabeth Street; Sydney NSW 2000 Australia.
- Cudworth, D.M. and Salahi,R., A case study into the effect of reinforcement and aggregate on the performance of continuously reinforced concrete pavement, 4th European Symposium on performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavement, BITMAT 4, Nottingham, UK , April 2002.

- Day Ken D., Concrete Mix Design, Quality Control and Specification, Taylor and Francis, 2006.
- Delatte N., Concrete Pavement Design, Construction and Performance, Taylor and Francis, 2008,
- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah, Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. (Pd T – 14 - 2003)
- Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah 2003. Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Pd T 14- 2003. Jakarta 2003.
- Federal Highway Administration, U.S Department of Transportation; Concrete Reinforcing Steel Institute, Continuously Reinforced Concrete Pavement, Design & Construction Guidelines; May 2009. Robert Otto Rasmussen ; Richard Rogers; Theodore R. Ferragut.
- Geoffrey Griffiths and Nick Thom. Concrete Pavement Design Guidance Notes. 2007. Published by Taylor and Francis, 2 park square, Milton Park, Oxon OX 14 4 rn
- Griffiths, G. And Thom N., Concrete Pavement Design Guidance Notes, Taylor and Francis. 2007*
- Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga; Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, 2010
- Krebs R.D. and Walker R.D, 1971, Highway Material, McGraw-Hill.
- McCulloch, B.F. and Dossey, T., Controlling early age cracking in continuously reinforced concrete pavement, Transport Research Report 1684, Washington DC, January 1999.
- Mindess S, et.al, Concrete, Prentice Hall, 2003,
- Poole, T.S., Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements, Volume II, FHWA Publication No. HRT-05-038, Turner Fairbank Highway Research Center, Mc Lean, VA, August, 2006.
- Ramachandran V.S, Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science and Technology, 2nd ed. Noyes Publication 1995.
- Suryawan.A, 2009. Perkerasan jalan beton semen Portland (rigid pavement). Perencanaan metode AASHTO 1993. Beta Offset. Yogyakarta.

Tayabji,S.,M Performance of continuously concrete pavement in the LTTP program, 7 th International Conference on Concrete Pavement, September 2001.

Taylor P.C,Kosmatka S.H,Voigt G.F,et al, Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement, 2006, FHWA Report. The Highways Agency , Design Manual for Roads and Bridges, vol 7, HD 26/01 "*Pavement Design*" 2001





