

PENERAPAN TEKNOLOGI PERKERASAN BETON MENERUS dengan TULANGAN

Aldian Nurcahya, Ida Rumkita S., Sri Mulyani



**Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan**

Penulis:

Aldian Nurcahya, S.T., M.T.

Ir. Ida Rumkita Sebayang, M.Sc.

Sri Mulyani, S.T., M.T.

Anggota Tim:

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

Ir. Andri Herdianti

Rulli Ranastra, S.T., M.T.

Iwan Susanto, S.T., M.T.

Editor:

Dr. Drs. Madi Hermadi, M.M.

KATA PENGANTAR

Pertumbuhan lalu lintas di Indonesia sangat signifikan dalam beberapa tahun ini, diiringi dengan beban kendaraan yang juga meningkat. Pada jalan dengan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku (beton) sering ditemui kerusakan dini akibat volume lalu lintas yang tinggi dan beban kendaraan berat. Perkerasan beton di Indonesia pada beberapa tahun ini telah menunjukkan perkembangan yang sangat pesat. Di mana sebagian besar pembangunan perkerasan jalan beton tersebut banyak dilakukan pada jalan tol, terutama pembangunan-pembangunan jalan tol baru. Penggunaan perkerasan jalan beton ini terutama pada jalan-jalan tol yang baru adalah untuk dapat melayani beban lalu lintas yang cukup besar, dikarenakan pembangunan jalan tol adalah sebagai jalur alternatif untuk angkutan darat dapat mencapai tujuan yang dituju terutama untuk daerah Pulau Jawa. Salah satu kelemahan perkerasan beton adalah pada sambungan, sehingga kerusakan sering terjadi pada sambungan. Perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP, *Continuously Reinforced Concrete Pavement*) adalah jenis perkerasan beton yang tidak memiliki sambungan melintang, kecuali berupa sambungan pelaksanaan.

CRCP merupakan perkerasan jalan beton yang menggunakan tulangan, dimana tulangan utamanya adalah tulangan memanjang yang dipasang secara menerus. Kegunaan dari tulangan ini adalah sebagai perkuatan dari perkerasan beton tersebut untuk menahan retak yang akan terjadi, dimana lebar retak yang terjadi tersebut dikendalikan oleh tulangan sehingga ukuran retak tersebut tidak bertambah lebar.

CRCP sudah banyak diterapkan di luar negeri untuk jalan dengan lalu lintas padat dan berat, dan terbukti sebagai jalan yang mempunyai umur layan yang tinggi. CRCP juga merupakan perkerasan dengan pemeliharaan yang minim. Sedangkan hingga saat ini di Indonesia penerapan CRCP di Indonesia masih sangat terbatas. Hal ini dikarenakan teknologi ini sendiri masih belum banyak diketahui oleh para pengguna kebijakan di Indonesia. Selain itu pedoman-

pedoman baik berupa perancangan, pelaksanaan, maupun spesifikasi belum secara khusus membahas tentang perkerasan jalan jenis tersebut. Pedoman-pedoman yang ada pada saat ini masih berfokus pada perkerasan jalan beton konvensional.

Puslitbang Jalan dan Jembatan sejak tahun 2011 telah melakukan kajian-kajian tentang perkerasan beton dengan tulangan. Kajian-kajian tersebut memfokuskan kepada spesifikasi-spesifikasi yang ada dari berbagai Negara dan dilakukan suatu perbandingan untuk mendapatkan suatu spesifikasi yang mungkin dapat diterapkan di Indonesia. Selain itu telah mulai dibuat suatu pedoman perancangan untuk perkerasan beton dengan tulangan. Pedoman tersebut membahas penentuan tebal perkerasan, luas tulangan, jarak tulangan, dan jenis tulangan yang dapat digunakan pada pelaksanaan perkerasan beton dengan tulangan tersebut. Pada tahun 2017 juga telah disusun pedoman Spesifikasi Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan yang di dalamnya berisikan ketentuan-ketentuan dari bahan-bahan yang akan digunakan pada saat pelaksanaan CRCP di lapangan.

Melihat perkembangan CRCP di Indonesia belum banyak diterapkan, maka perlu adanya suatu percobaan pembuatan prototip untuk perkerasan tersebut. Pelaksanaan ini akan didasarkan kepada pedoman-pedoman yang telah dihasilkan dari Balitbang Kementerian PUPR, baik dari proses perancangan hingga proses pelaksanaannya. Rencana penerapan adalah pada Ruas Jalan di Pantura Jawa Barat. Dasar perancangan adalah menggunakan pedoman yang ada ataupun masih dalam penyusunan untuk melihat perbandingan dari masing-masing metoda yang ada.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 PERKERASAN BETON	1
1.1 Jenis-jenis Perkerasan Beton	1
1.2 Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan (JPCP)	2
1.3 Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan (JRCP)	3
1.4 Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan (CRCP)	4
BAB 2 SPESIFIKASI PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN	6
2.1 Perkembangan Spesifikasi Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan	6
2.2 Persyaratan Agregat	6
2.3 Persyaratan Baja Tulangan	9
2.4 Persyaratan campuran beton	10
2.5 Persyaratan pada sambungan ujung	11
BAB 3 PERENCANAAN PERKERASAN BETON DENGAN TULANGAN	13
3.1 Perencanaan perkerasan beton	13
3.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Beton	14
3.3 Perencanaan Tulangan	15
BAB 4 METODE PELAKSANAAN PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN	21
4.1 Metoda Pelaksanaan Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan	21
4.2 Lapis Fondasi	21
4.3 Pelaksanaan baja tulangan	22
4.4 Sambungan antar baja tulangan memanjang	24
4.5 Proses Penghamparan Beton	26
4.6 Sambungan	27

4.6.1	Sambungan memanjang	28
4.6.2	Sambungan pelaksanaan melintang	28
4.6.3	Sambungan Ujung	30
BAB 5	PERANCANGAN PENERAPAN PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN DI PANTURA JAWA BARAT ..	36
5.1	Rencana Perancangan Penerapan Berdasarkan AASHTO 1993 ..	36
5.2	Rencana Perancangan Penerapan Berdasarkan Austroad	44
BAB 6	PENUTUP	49
	DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat agregat halus.....	7
Tabel 2.2 Sifat-sifat agregat kasar	7
Tabel 2.3 Ketentuan gradasari agregat halus	8
Tabel 2.4 Ketentuan gradasi agregat kasar	9
Tabel 2.5 Sifat mekanis baja tulangan	10
Tabel 2.6 Kuat lentur minimum untuk perkerasan beton semen.....	11
Tabel 2.7 Persyaratan fisik untuk penutup sambungan elastromik yang telah dibentuk	12
Tabel 5.1 Input perancangan, kriteria perancangan, dan presentase kebutuhan tulangan	39
Tabel 5.2 Ringkasan nilai cumulative equivalent single axle load (CESAL) lingkar karawang.....	45
Tabel 5.3 Analisis Perancangan Baja Tulangan berdasarkan Pd T-14-2003	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Unsur-unsur yang umum pada perkerasan beton konvensional (ACPA).....	2
Gambar 1.2 Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (JPCP).....	3
Gambar 1.3 Perkerasan beton bersambung dengan tulangan (JRCP)	4
Gambar 1.4 Perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP).....	5
Gambar 3.1 Kurva penentuan tebal pelat beton.....	16
Gambar 3.2 Prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria jarak retakan	17
Gambar 3.3 Minimum prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria lebar retak.....	19
Gambar 3.4 Minimum prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria tegangan baja	20
Gambar 4.1 Tipikal perletakan baja tulangan memanjang dan melintang ...	22
Gambar 4.2 Pekerja memeriksa baja tulangan memanjang dan melintang pada tumpuannya.....	23
Gambar 4.3 Dua Lapis baja tulangan memanjang dan melintang di atas tumpuan	24
Gambar 4.4 Posisi sambungan baja tulangan yang tumpang tindih	25
Gambar 4.5 Sambungan tulangan memanjang bertangga pada CRCP	26
Gambar 4.6 Tipikal pola pemasangan menyerong (skewed) dan sambungan tulangan memanjang beton CRCP	26
Gambar 4.7 Penghampar beton jenis acuan bergerak (slip-form)	27
Gambar 4.8 Sambungan tulangan memanjang yang diikat dengan batang pengikat	28
Gambar 4.9 Penempatan panel header dari kayu sementara pada sambungan konstruksi melintang	29
Gambar 4.10 Penyelesaian beton pada header pada sambungan konstruksi melintang.....	30
Gambar 4.11 Sambungan konstruksi melintang dengan tambahan baja tulang pada lajur jejak roda	30

Gambar 4.12 Sambungan transisi CRCP menggunakan Sleeper Slab dan Baja Profil Flens Lebar (Wide-Flange Beam).....	32
Gambar 4.13 Sambungan transisi CRCP dengan modifikasi Flens Lebar...	32
Gambar 4.14 Sambungan transisi CRCP menggunakan Sambungan Ruji (Dowel Joint)	33
Gambar 4.15 Sambungan transisi CRCP menggunakan tulangan baja memanjang dengan sambungan gergajian dan sambungan ruji	34
Gambar 4.16 Sambungan transisi CRCP dengan Perkerasan Beraspal menggunakan penebalan pelat beton.....	35
Gambar 4.17 Sambungan transisi CRCP dengan Perkerasan Beraspal menggunakan bahan penutup elastomer	35
Gambar 5.1 Kondisi eksisting rencana penerapan.....	36
Gambar 5.2 Kondisi lalu lintas dan jenis kendaraan pada jalan eksisting	37
Gambar 5.3 Rencana tebal perkerasan beton menerus dengan tulangan mengacu AASHTO 1993	38
Gambar 5.4 Desain rencana kebutuhan baja tulangan berdasarkan perhitungan AASHTO 1993.....	40
Gambar 5.5 Detil penempatan baja tulangan memanjang dan melintang berdasarkan perhitungan AASHTO 1993	41
Gambar 5.6 Detil sambungan antar baja tulangan memanjang berdasarkan perhitungan AASHTO 1993.....	42
Gambar 5.7 Detil sambungan ujung CRCP dengan perkerasan aspal eksisting	43
Gambar 5.8 Tipe kerusakan perkerasan beton saat ini	44
Gambar 5.9 Retak pada perkerasan beton akibat deformasi	44
Gambar 5.10 Potongan melintang desain perkerasan beton menerus didasarkan MDP 2017	47
Gambar 5.11 Rencana denah kebutuhan baja tulangan didasarkan Pd T-14-2003	48

BAB 1

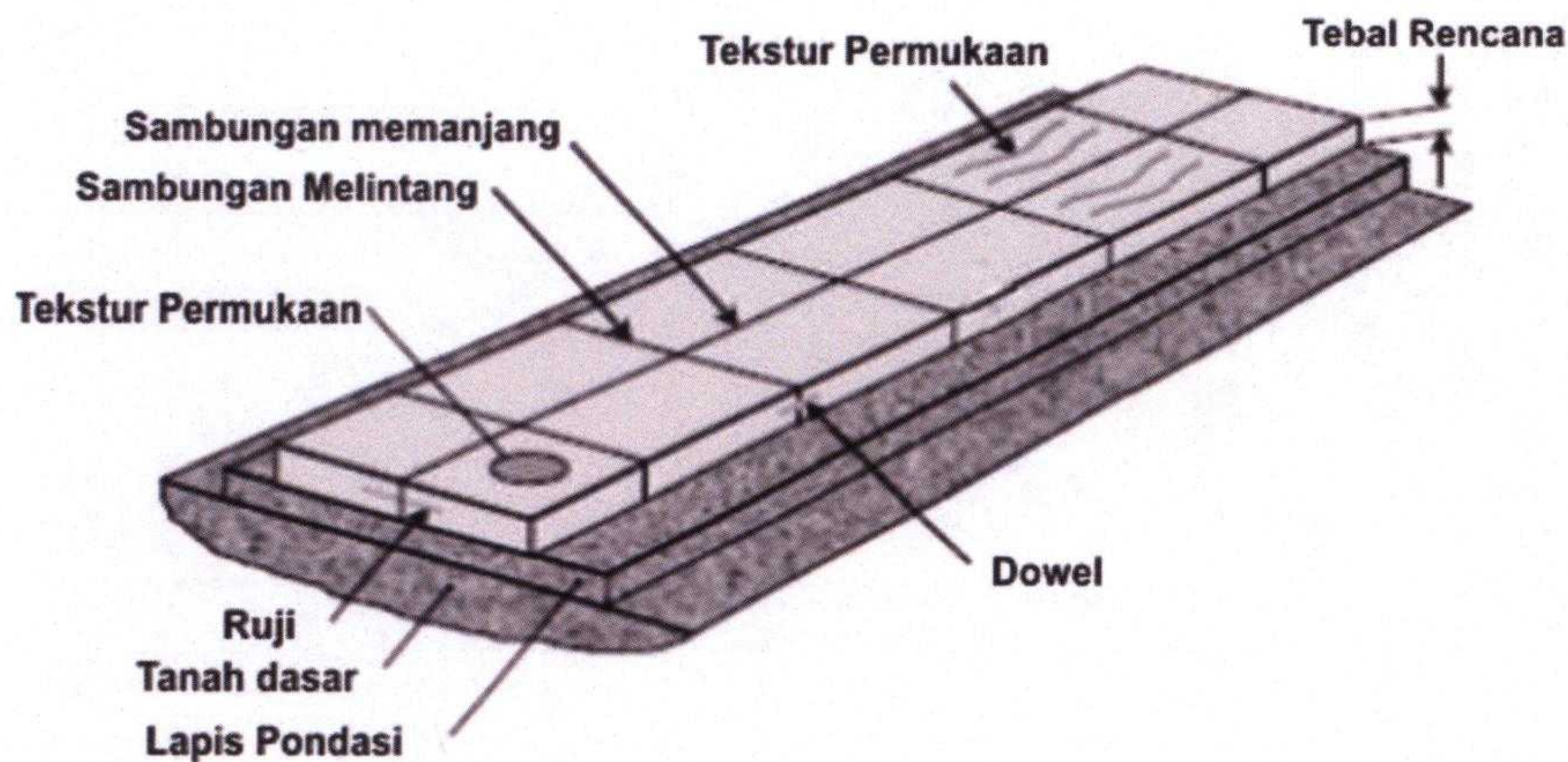
PERKERASAN BETON

1.1 Jenis-jenis Perkerasan Beton

Terdapat tiga jenis desain struktur dari perkerasan beton yang umum digunakan pada saat ini, yaitu:

- Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (*Jointed plain concrete pavement, JPCP*)
- Perkerasan beton bersambung dengan tulangan (*Jointed reinforced concrete pavement, JRCP*)
- Perkerasan beton menerus dengan tulangan (*Continuously reinforced concrete pavement, CRCP*)

Menurut Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi (2013), semua jenis perkerasan kaku konvensional, slab beton biasanya diletakkan langsung pada di atas tanah dasar, fondasi, atau fondasi bawah. Fondasi, atau fondasi bawah dapat berupa material berikat (*bonded*) atau tidak terikat (*unbonded*) yang memberikan kecukupan daya dukung, drainase, dan kinerja permukaan yang memadai selama konstruksi. Ketiga perkerasan kaku mendukung beban lalu lintas melalui kekuatan lentur beton. Namun, mereka berbeda dalam panjang slab, sambungan, dan jenis serta jumlah perkuatan/tulangan yang digunakan. Pada Gambar 1.1 ditunjukkan unsur-unsur utama yang terdapat pada suatu sistem perkerasan beton konvensional.



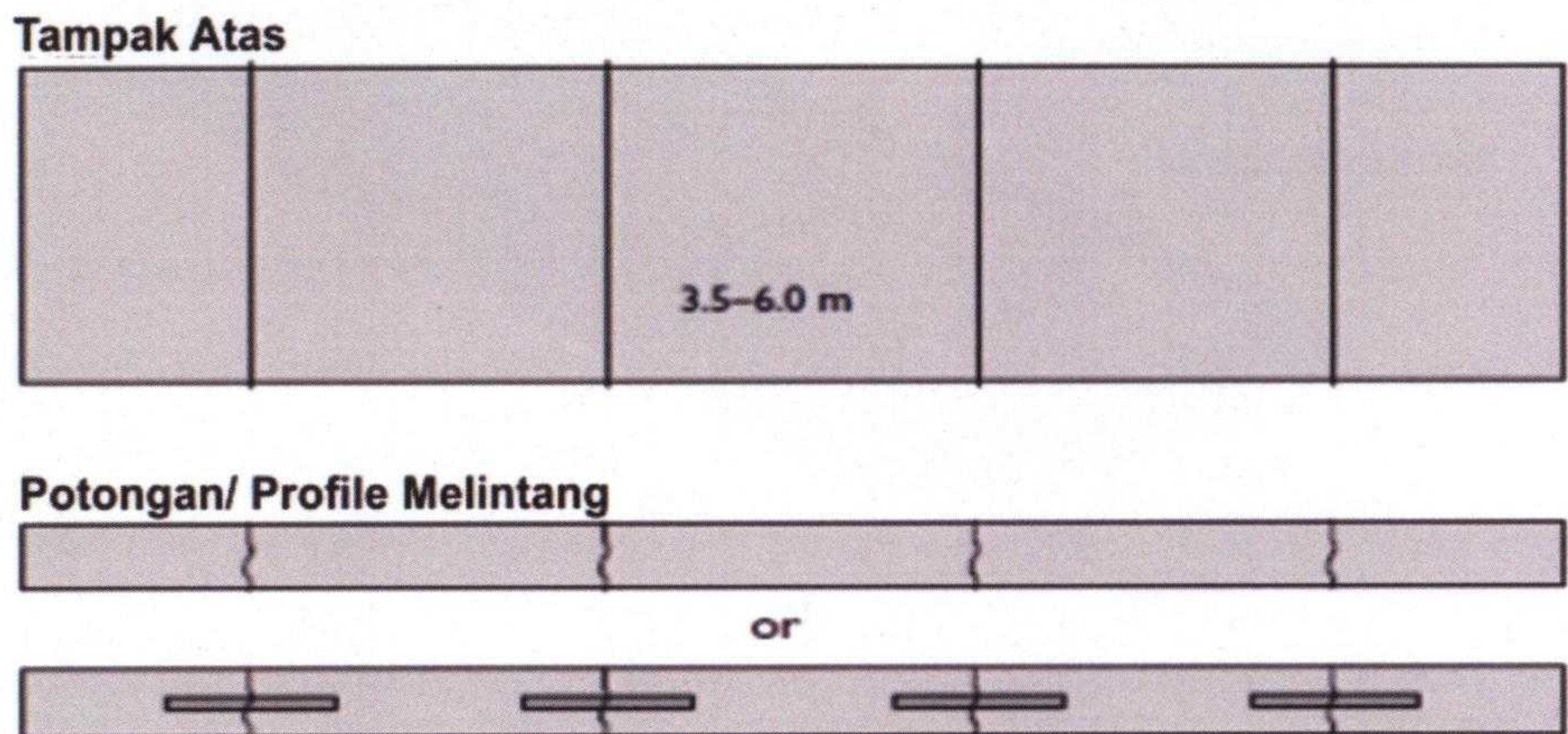
Gambar 1.1 Unsur-unsur yang umum pada perkerasan beton konvensional (ACPA) (Sumber: FHWA, 2016)

Pemilihan tipe perkerasan beton bersambung dengan tulangan dan perkerasan beton menerus dengan tulangan, dapat dikarenakan tingkat kenyamanan mengendara yang lebih baik dibanding perkerasan beton bersambung tanpa tulangan. Akan tetapi tipe perkerasan beton dengan tulangan tentu saja membutuhkan dana yang lebih besar dibanding perkerasan beton tanpa tulangan. Meskipun dana pembangunan perkerasan beton bertulang lebih besar, tetapi memerlukan dana pemeliharaan yang lebih kecil dibanding perkerasan beton tanpa tulangan serta terbukti lebih mampu menerima lalu lintas berat dan memiliki umur layan lebih panjang.

1.2 Perkerasan Kaku Bersambung Tanpa Tulangan (JPCP)

Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JPCP) adalah jenis perkerasan kaku yang paling umum digunakan karena biaya dan kesederhanaannya. Sambungan biasanya dibuat setiap 3,5 m – 6,0 m untuk mengendalikan retak (FHWA, 2016). Pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, tidak ada tulangan yang digunakan, kecuali batang dowel yang ditempatkan pada sambungan melintang atau batang tie bar pada sambungan memanjang. Dowel digunakan untuk transfer beban pada sambungan melintang dan memungkinkan sambungan bergerak sepanjang sumbu memanjang. Sebaliknya, batang *tie bar* menjaga atau mengikat pada sambungan memanjang (Rajib B. Mallick and Tahar El-

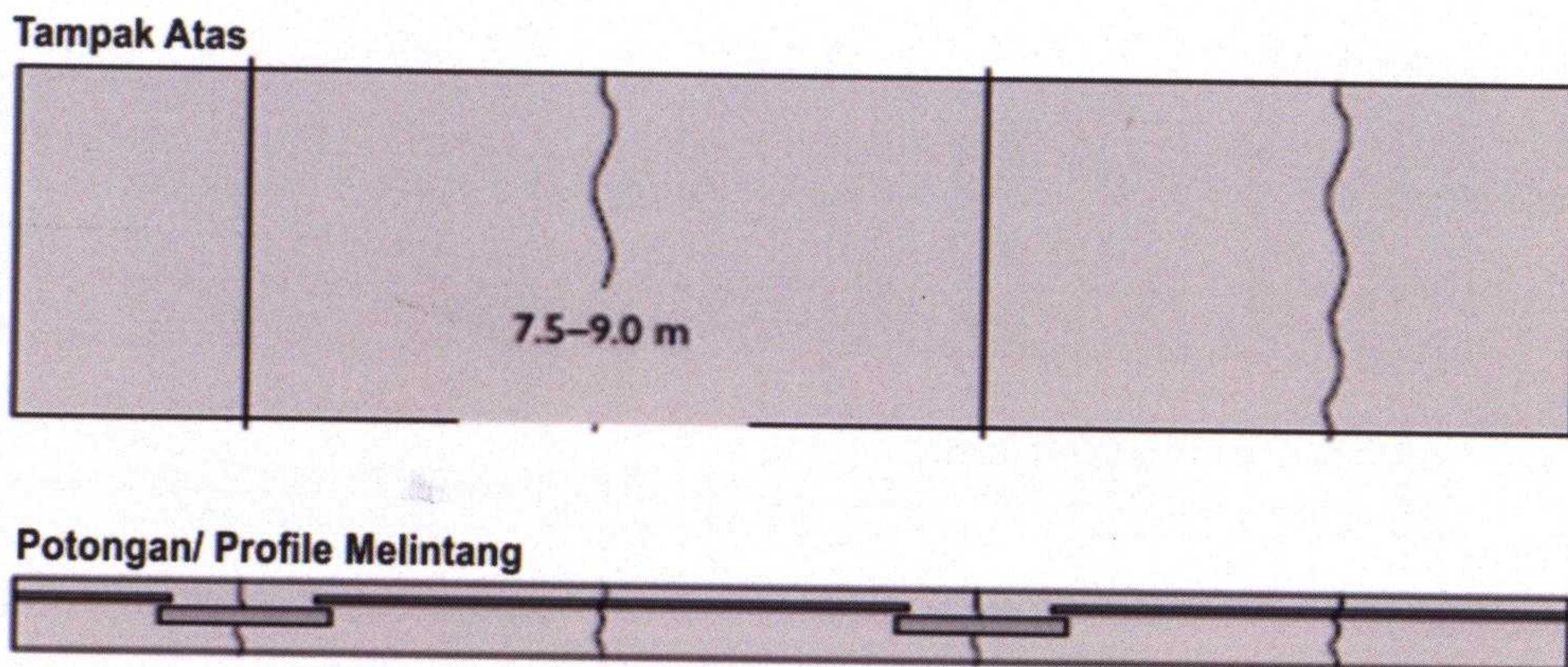
Korchi,2013). Tipikal perkerasan bersambung tanpa tulangan ini dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut ini.



Gambar 1.2 Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (JPCP)
(Sumber: FHWA, 2016)

1.3 Perkerasan Kaku Bersambung dengan Tulangan (JRCP)

Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan (JRCP) mirip dengan JPCP kecuali slab yang lebih panjang dan menggunakan tulangan. Jarak antara sambungan (panjang slab) biasanya 7,5 m – 9 m (FHWA, 2016). Untuk slab JRCP, penggunaan dowel sangat dianjurkan untuk transfer beban. Kuantitas besi tulangan yang digunakan dalam arah memanjang biasanya 0,1% - 0,25% dari luas penampang beton. Penguatan dengan besi tulangan pada JRCP tidak digunakan untuk memikul beban struktural, namun hanya untuk menahan retak susut. Besi tulangan tersebut diletakkan di dekat kedalaman mid-slab atau dekat dengan sumbu netral, di mana tegangan bending mendekati nol. Penguatan ini bertujuan untuk menahan celah yang disebabkan oleh tekanan akibat perubahan temperatur. Besi tulangan dapat berupa besi baja atau *wire mesh* (Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi, 2013). Tipikal perkerasan bersambung dengan tulangan ini dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut ini.



Gambar 1.3 Perkerasan beton bersambung dengan tulangan (JRCP)
(Sumber: FHWA, 2016)

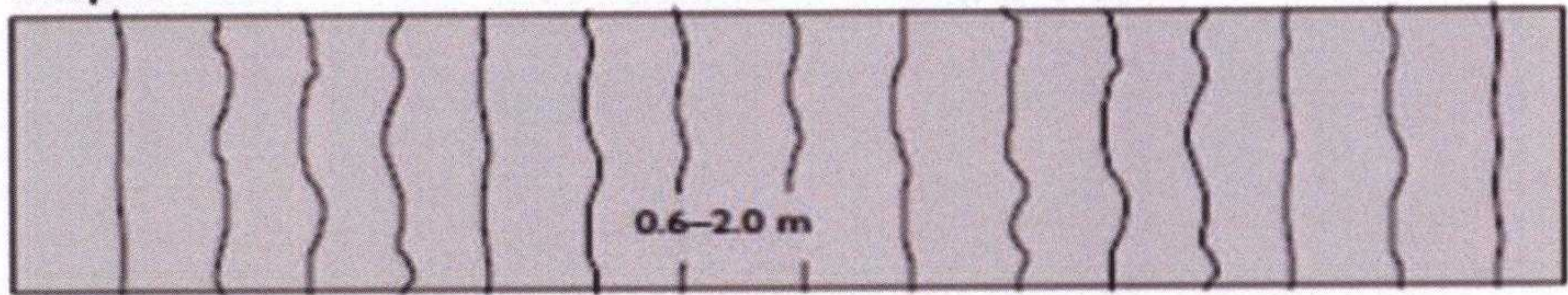
1.4 Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan (CRCP)

Perkerasan kaku menerus dengan tulangan (CRCP) adalah pelat beton bertulang tanpa sambungan kontraksi dan tidak diperlukan sambungan susut. Perkerasan menerus dengan Tulangan (CRCP), tulangan memanjang dengan jumlah yang cukup dan biasanya 0,6% - 0,8% dari luas penampang beton (Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi, 2013). Untuk tulangan melintang dengan jarak sekitar 0,5 m - 2,5 m dan tulangan melintang dimaksudkan

sebagai dukungan untuk tulangan memanjang dimaksudkan juga untuk menjamin tidak terjadinya retak memanjang.

Pada perkerasan menerus dengan Tulangan (CRCP), retak rambut pasti terjadi namun tidak menjadi mempengaruhi terhadap kinerja perkerasan. Pola retakan yang terjadi biasanya berjarak antara 2,0-8,0 feet. Namun demikian retakan tersebut dapat diatasi dengan memperkuat besi tulangan. Menurut Huang (2004) jika jumlah besi tulangan memanjang yang digunakan dalam CRCP kurang dari 0,6%, potensi terjadinya punchout lebih besar. Pada awal dan akhir perkerasan CRCP memerlukan konstruksi sambungan ujung yang khusus untuk menjaga agar ujung-ujungnya tidak berkontraksi dan memungkinkan terjadi retak pelat. Tipikal perkerasan menerus dengan tulangan ini dapat dilihat pada Gambar 1.4 berikut ini.

Tampak Atas



Potongan/ Profile Melintang



Gambar 1.4 Perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP) (Sumber: FHWA, 2016)

Federal Highway Administration, TechBrief. September 2012, dan *Technical Advisory T 5080.14* (1990), mempublikasikan CRCP. Perbedaan dan keunggulan CRCP dari perkerasan beton lainnya antara lain:

- CRCP tidak memiliki sambungan kontraksi melintang, kecuali pada ujungnya yang bersambung dengan jenis konstruksi lain.
- Baja tulangan memanjang dirancang menerus yang dapat mengendalikan retakan dalam beton dengan jarak sekitar 0,6 m sampai 2,4 m. Perkuatan baja tulangan yang ketat diperlukan untuk menjaga pengikatan yang kuat pada retakan.
- CRCP dapat dilaksanakan tanpa sambungan dengan panjang tak terbatas, dan hanya bersambung bila melewati struktur seperti jembatan.

CRCP harus ditempatkan pada tanah dasar yang telah dipadatkan dan tidak disarankan di daerah yang distorsi, kecuali dilakukan stabilisasi yang memadai.

BAB 2

SPESIFIKASI PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN

2.1 Perkembangan Spesifikasi Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan

Pada saat ini di Indonesia belum tersedianya spesifikasi yang secara khusus membahas tentang perkerasan beton menerus dengan tulangan. Spesifikasi yang ada saat ini masih secara umum membahas ketentuan untuk perkerasan beton bersambung tanpa tulangan baik dari bahan penyusun maupun persyaratan betonnya.

Melihat kondisi tersebut maka pada tahun 2017 Puslitbang Jalan dan Jembatan telah mengembangkan suatu pedoman spesifikasi perkerasan beton menerus dengan tulangan. Spesifikasi yang dikembangkan ini adalah berfokus kepada bahan dan mutu dari perkerasan beton menerus dengan tulangan yang berasal dari kumpulan hasil kajian spesifikasi perkerasan beton dalam negeri maupun luar negeri.

Beberapa bahan utama mempunyai beberapa persyaratan yang disesuaikan dengan kebutuhan dalam perkerasan beton menerus dengan tulangan. Untuk bahan Semen, Abu Terbang, dan Air mempunyai spesifikasi yang sama dengan perkerasan beton konvensional yang terdapat pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3.

2.2 Persyaratan Agregat

Secara umum persyaratan mutu untuk agregat halus dan agregat kasar tidak ada perubahan yang berarti dibandingkan yang telah diatur pada perkerasan beton bersambung dengan tulangan. Persyaratan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Sifat-sifat agregat halus

Sifat	Standar uji	Nilai
Berat Isi, kg/m ³ (kondisi SSD)	SNI 03-4804-1998	Min. 1,200
Penyerapan oleh Air, %	SNI 1969:2008	Maks. 5
Kekekalan bentuk agregat: - Larutan Natrium Sulfat, %, atau - Larutan Magnesium Sulfat, %	SNI 3407:2008	Maks. 10 Maks. 15
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah, %	SNI 4141:2015	Maks. 3
Bahan yang lolos saringan No. 200: - kondisi umum; % - kondisi permukaan terabrasi; %	SNI 03-4142-1996	Maks. 5 Maks. 3
Nilai setara pasir, %	SNI 03-4428-1997	Min. 60

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

Tabel 2.2 Sifat-sifat agregat kasar

Sifat	Standar uji	Nilai
Kehilangan akibat Abrasi Los Angeles untuk 500 putaran, %	SNI 2417:2008	Maks. 40
Berat Isi Lepas, kg/m ³ (kondisi SSD)	SNI 03-4804-1998	Min. 1,200
Berat Jenis	SNI 1970:2008	Min. 2,1
Penyerapan oleh air: - ampas besi, % - untuk bahan lainnya	SNI 1970:2008	Maks. 6 Maks. 2,5
Bentuk partikel pipih dan lonjong dengan rasio 3:1, %	ASTM D-4791	Masing-masing maks. 25
Butir pecah (2 atau lebih), %	SNI 7619:2012	Min. 80
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan - natrium sulfat, %; - magnesium sulfat, %	SNI 3407:2008	Maks. 12 Maks. 18
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah, %	SNI 03-4141-1996	Maks. 2

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

Perbedaan dibandingkan ketentuan yang diperuntukkan perkerasan beton bersambung dengan tulangan adalah pada gradasi dari agregat yang akan

digunakan. Ketentuan gradasi agregat halus maupun kasar yang akan digunakan untuk perkerasan beton menerus dengan tulangan didasarkan kepada ASTM C 33/C 33M – 13. Persyaratan gradasi yang digunakan baik untuk agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Ketentuan gradasari agregat halus

Ukuran Ayakan		Persen Berat yang Lolos untuk Agregat
ASTM	mm	
3/8	10,0	100
No. 4	4,75	95 – 100
No. 8	2,36	80 – 100
No. 16	1,18	50 – 85
No. 30	600 µm	25 – 60
No. 50	300 µm	5 – 30
No. 100	150 µm	0 – 10
No. 200	75 µm	0 – 2 ^{A,B}
Keterangan: ^A Untuk beton yang tidak terpengaruh oleh abrasi, batas untuk material yang lebih halus dari ayakan ukuran 75 µm (No. 200) adalah maksimum 5% ^B Untuk agregat halus hasil pabrikasi, jika material halus yang lebih halus dari ayakan ukuran 75 µm (No. 200) terdiri dari debu hasil pecahan, pada dasarnya bebas dari lempung atau serpihan, maka batas maksimumnya adalah 5% untuk beton terpengaruh oleh abrasi dan 7% untuk beton yang tidak terpengaruh oleh abrasi.		

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

Tabel 2.4 Ketentuan gradasi agregat kasar

Ukuran Ayakan		Prosentase Berat yang Lolos untuk Agregat (Ukuran Nominal Maksimum)	
ASTM	mm	37,5mm (1 ½ in)	25mm (1 in)
2	50	100	
1 ½	37,5	90 – 100	100
1	25,0	20 – 55	90 – 100
¾	19,0	0 – 15	40 – 85
½	12,5		10 – 40
3/8	9,5	0 – 5	0 – 15
No. 4	4,75		0 – 5

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

2.3 Persyaratan Baja Tulangan

Persyaratan baja tulangan diperlukan karena pada saat ini persyaratan yang digunakan berasal dari perancangan pada struktur bangunan bukan yang dikhususkan kepada persyaratan perkerasan beton. Persyaratan baja tulangan yang akan digunakan baik itu berupa baja tulangan memanjang, baja tulangan melintang, dan batang pengikat (*tie bar*) mempunyai sumber persyaratan yang diambil dari SNI 2052:2017. Persyaratan utama yang digunakan untuk baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 2.5 sebagai berikut. Sedangkan persyaratan untuk masing-masing baja tulangan yang digunakan adalah minimal yang mempunyai kuat tarik leleh 420 MPa.

Tabel 2.5 Sifat mekanis baja tulangan

Kelas baja tulangan	Uji Tarik			Rasio TS/YS (Hasil Uji)
	Kuat luluh/leleh (YS)	Kuat tarik (TS)	Regangan dalam 200 mm, Min.	
	MPa	MPa	%	
BjTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ($d \leq 10$ mm)	-
			12 ($d \geq 12$ mm)	
BjTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350	11 ($d \geq 10$ mm)	Min. 1,25
			12 ($d \geq 13$ mm)	
BjTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	9 ($d \leq 19$ mm)	Min. 1,25
			8 ($22 \leq d \leq 25$ mm)	
			7 ($d \geq 29$ mm)	
BjTS 420B	Min. 420 Maks. 545	Min. 525	14 ($d \leq 19$ mm)	Min. 1,25
			12 ($22 \leq d \leq 36$ mm)	
			10 ($d > 36$ mm)	
BjTS 520	Min. 520 Maks. 645	Min. 650	7 ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,25
			6 ($d \geq 29$ mm)	
BjTS 550	Min. 550 Maks. 675	Min. 687,5	7 ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,25
			6 ($d \geq 29$ mm)	
BjTS 700	Min. 700 Maks. 825	Min. 805	7 ($d \leq 25$ mm)	Min. 1,15
			6 ($d \geq 29$ mm)	
Keterangan: d adalah diameter nominal baja tulangan beton				

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

2.4 Persyaratan campuran beton

Dalam perancangan campuran beton tidak terdapat perbedaan dengan metoda-metoda yang sudah tersedia pada SNI yang ada. Perancangan campuran beton dapat menggunakan SNI 03-2834-2000 (Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal) dan SNI 7656-2012 (Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa). Perbedaannya keduanya adalah pendekatan yang digunakan yaitu berdasarkan kondisi agregat SSD dan kondisi agregat *oven dry*.

Mutu yang diutamakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan adalah diperuntukkan lalu lintas berat dan padat. Untuk persyaratan kekuatan perkerasan beton dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Kuat lentur minimum untuk perkerasan beton semen

Sifat	Standar uji	Nilai
Kuat lentur (Fs) beton percobaan campuran untuk 28 hari, MPa	SNI 03-4431-2011	4,7
Kuat lentur (Fs) beton percobaan pengendalian produksi untuk 28 hari ,MPa		4,5

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

2.5 Persyaratan pada sambungan ujung

Selain adanya persyaratan tentang baja tulangan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan, terdapat persyaratan lain yang tidak terdapat pada perkerasan beton konvensional yaitu persyaratan pada sambungan ujung. Sambungan ujung ini terdiri dari beberapa bahan yang membentuk satu kesatuan. Untuk beberapa pilihan sambungan ujung yang menggunakan baja struktur maka baja yang digunakan dalam sambungan ujung didasarkan kepada persyaratan yang terdapat pada SNI 6764:2016. Persyaratan batang dowel adalah memiliki kuat tarik leleh minimal 420 MPa. Sedangkan untuk penutup kompresi dari sambungan ujung tersebut didasarkan kepada ASTM D2628 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai berikut.

Tabel 2.7 Persyaratan fisik untuk penutup sambungan elastromik yang telah dibentuk

Sifat	Standar uji	Nilai
Kuat tarik, MPa	ASTM D 412	Min. 13,8
Regangan pada saat putus, %	ASTM D 412	Min. 250
Kekerasan, Tipe A durometer, titik	ASTM D 2240 (modifikasi) ^A	55 ± 5
Penuan oven, 70 jam pada 100°C	ASTM D 573	
Kuat tarik, kehilangan, %		Maks. 20
Regangan, kehilangan, %		Maks. 20
Kekerasan, Tipe A durometer, perubahan titik		0 sd + 10
Pengembangan minyak, ASTM minyak, 70 jam pada 100°C	ASTM D 471	
Perubahan berat, %		Maks. 45
Ketahanan ozon, tegangan 20%, pada udara 300 pphm, 70 jam pada 40°C	ASTM D 1149 (modifikasi) ^B	Tidak ada retak
Kekakuan pada temperatur rendah, 7 hari pada -10°C	ASTM D 2240	
Kekerasan, Tipe A durometer, perubahan titik		0 sd + 15
Pemulihan pada temperatur rendah ^C , 72 jam pada -10°C, defleksi 50%, %	ASTM D 2628 bagian 9.2 ^D	Min. 88
Pemulihan pada temperatur rendah ^C , 22 jam pada -29°C, defleksi 50%, %	ASTM D 2628 bagian 9.2 ^D	Min. 83
Pemulihan pada temperatur tinggi ^C , 70 jam pada 100°C, defleksi 50%, %	ASTM D 2628 bagian 9.2 ^D	Min. 85
Defleksi tekanan, pada 80% dari lebar nominal, N/m	ASTM D 2628 bagian 9.3 ^D	Min. 613
<p>Keterangan:</p> <p>^A Arti dari “modifikasi” pada tabel berhubungan dengan penyiapan benda uji. Penggunaan dari penutup sambungan (joint seal) sebagai sumber benda uji memerlukan lebih banyak lapisan daripada yang ditetapkan pada prosedur pengujian modifikasi yang digunakan. Modifikasi benda uji tersebut harus disetujui oleh pembeli dan penjual sebelum pengujian. Pengujian kekerasan harus dibuat dengan durometer pada tempat durometer seperti yang direkomendasikan pada Metode Pengujian ASTM D 2240.</p> <p>^B Pengujian sesuai dengan Prosedur A dari Metode Pengujian ASTM D 518.</p> <p>^C Keretakan, pemisahan, atau pelekatan dari benda uji selama pengujian pemulihan dapat diartikan bahwa benda uji telah gagal dalam pengujian.</p> <p>^D Bagian yang menjadireferensi adalah terdapat pada ASTM D 2628.</p>		

Sumber: Draft Spesifikasi Perkerasan Kaku Menerus dengan Tulangan, 2017

BAB 3

PERENCANAAN PERKERASAN BETON DENGAN TULANGAN

3.1 Perencanaan perkerasan beton

Di Indonesia pada saat ini terdapat beberapa pedoman ataupun manual yang dapat dipakai untuk merancang perkerasan beton. Terdapat Pedoman Pd T-14-2003 tentang Perencanaan perkerasan jalan beton semen, dimana pedoman ini menggunakan acuan dari Ausroad, Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Pavements (1992). Pedoman tersebut mengatur perencanaan baik perkerasan beton tanpa tulangan maupun perkerasan beton dengan tulangan.

Pada tahun 2013 Direktorat Jenderal Bina Marga mengeluarkan Manual Desain Perkerasan Jalan yang bertujuan sebagai acuan perencanaan perkerasan jalan nasional di Indonesia. Manual tersebut kemudian diperbarui pada tahun 2017 di penyajiannya agar mudah dipahami dan perbaikan dan penambahan kandungan manual. Manual Desain Perkerasan tersebut hanya membahas perencanaan perkerasan beton bersambung tanpa tulangan pada bagian perencanaan perkerasan beton. Sehingga bila akan merencanakan tulangan perkerasan beton dengan tulangan maka perencana akan kembali merujuk kepada Pedoman Pd T-14-2003.

Melihat perkembangan yang ada saat ini maka sejak tahun 2016 Puslitbang Jalan dan Jembatan telah memulai penyusunan pedoman yang khusus membahas perkerasan beton dengan tulangan. Pedoman ini merupakan perbaikan atau pemutakhiran dari pedoman perancangan perkerasan beton yang telah ada pada tahun 2003. Perbedaan yang paling utama pada kedua pedoman tersebut adalah pendekatan analisis perancangan tebal lapis perkerasan yang digunakan. Pada pedoman tahun 2003 pendekatan analisis yang digunakan adalah berdasarkan kepada Austroad 1992 sedangkan pada rancangan pedoman tahun 2016 didasarkan kepada AASHTO 1993. Dengan

perbedaan tersebut maka terdapat beberapa unsur perancangan yang berbeda.

3.2 Perencanaan Tebal Perkerasan Beton

Dalam perencanaan tebal perkerasan beton dengan metoda AASHTO 1993 yang paling membedakan adalah penggunaan faktor J baik untuk perkerasan beton konvensional maupun perkerasan beton dengan tulangan. Faktor J ini dapat mempengaruhi ketebalan dari perkerasan beton dengan tulangan biarpun tidak terlalu tebal. Penentuan tebal perkerasan dapat menggunakan persamaan (1) atau menggunakan nomograf pada Gambar 3.1 sebagai berikut:

$$\log W_{18} = Z_R + 7,35 \times \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}\right)}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \times p_t) \times \log \left[\frac{S'_c \times C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \left\{ D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{k_{ef}} \right)^{0,25}} \right\}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- W_{18} = jumlah repetisi beban lalu lintas (ESAL);
- Z_R = penyimpangan normal standar, sebagai kepercayaan (R);
- S_0 = simpangan baku gabungan untuk prediksi lalu lintas dan kinerja;
- D = tebal pelat beton (inci);
- p_0 = indeks tingkat layanan awal;
- p_t = indeks tingkat layanan akhir;
- S'_c = kuat tarik lentur atau modulus keruntuhan beton (psi);
- C_d = koefisien drainase;
- J = koefisien penyaluran beban;

- Ec = modulus elastis beton (psi);
 k_{ef} = modulus reaksi tanah dasar efektif (psi).

Dasar dari perencanaan tebal perkerasan ini adalah merencanakan jumlah beban lalu lintas yang akan dilayani oleh perkerasan tersebut selama waktu pelayanannya.

3.3 Perencanaan Tulangan

Dalam merancang tulangan pada perkerasan beton terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan agar tulangan itu nantinya dapat bekerja dengan efisien dan maksimal. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan antara lain adalah:

1. Pembatasan jarak antar tulangan.
2. Pembatasan lebar retak.
3. Pembatasan tegangan baja yang bekerja.
4. Diameter tulangan.
5. Penggunaan epoxy pada tulangan untuk menahan korosi.

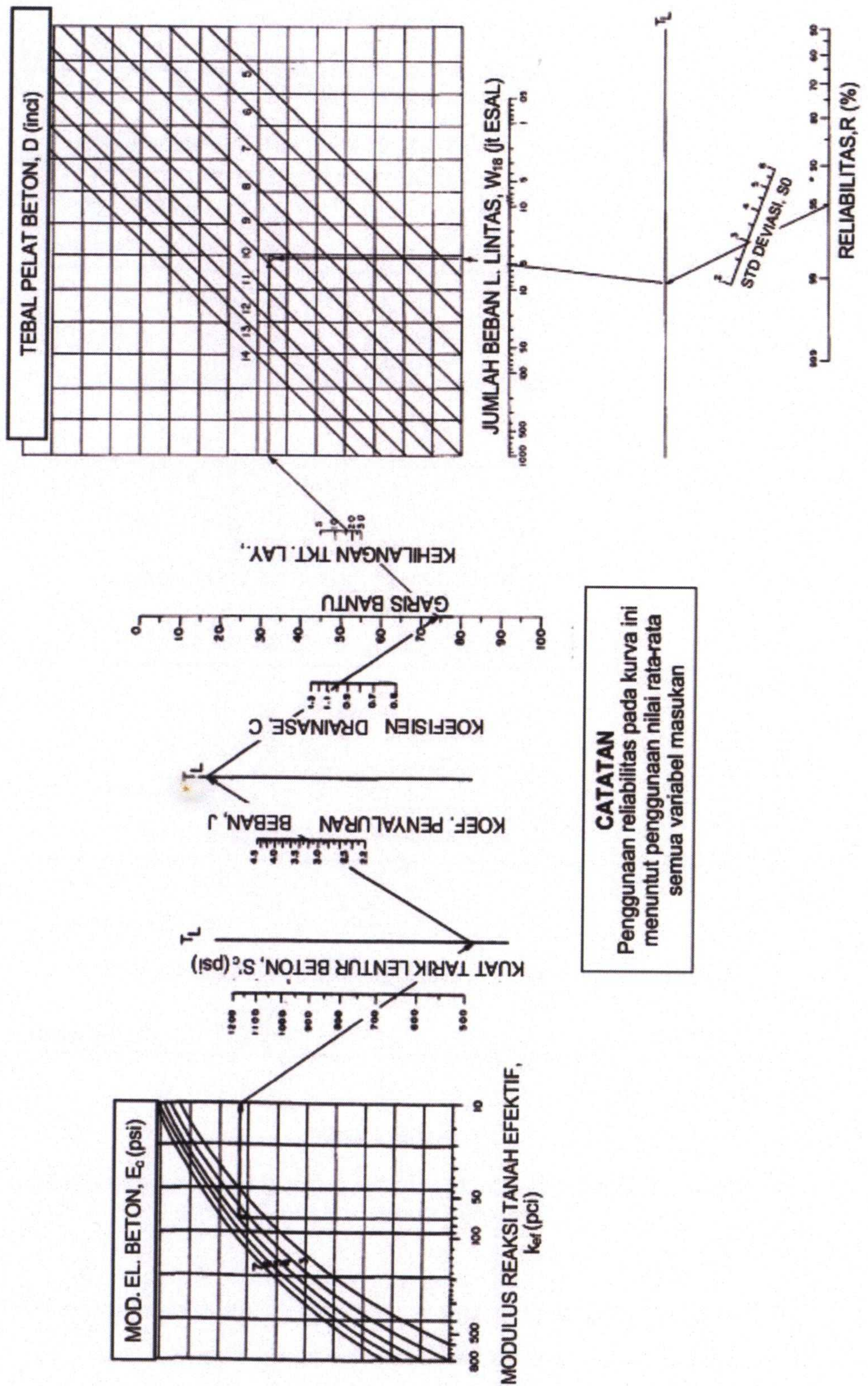
Untuk memenuhi persyaratan-persyaratan tersebut terdapat beberapa persamaan dan nomograf yang dapat digunakan untuk perhitungan masing-masing kriteria.

Penentuan prosentase tulangan memanjang untuk kriteria jarak retakan ditunjukkan pada persamaan (2) atau Gambar 3.2.

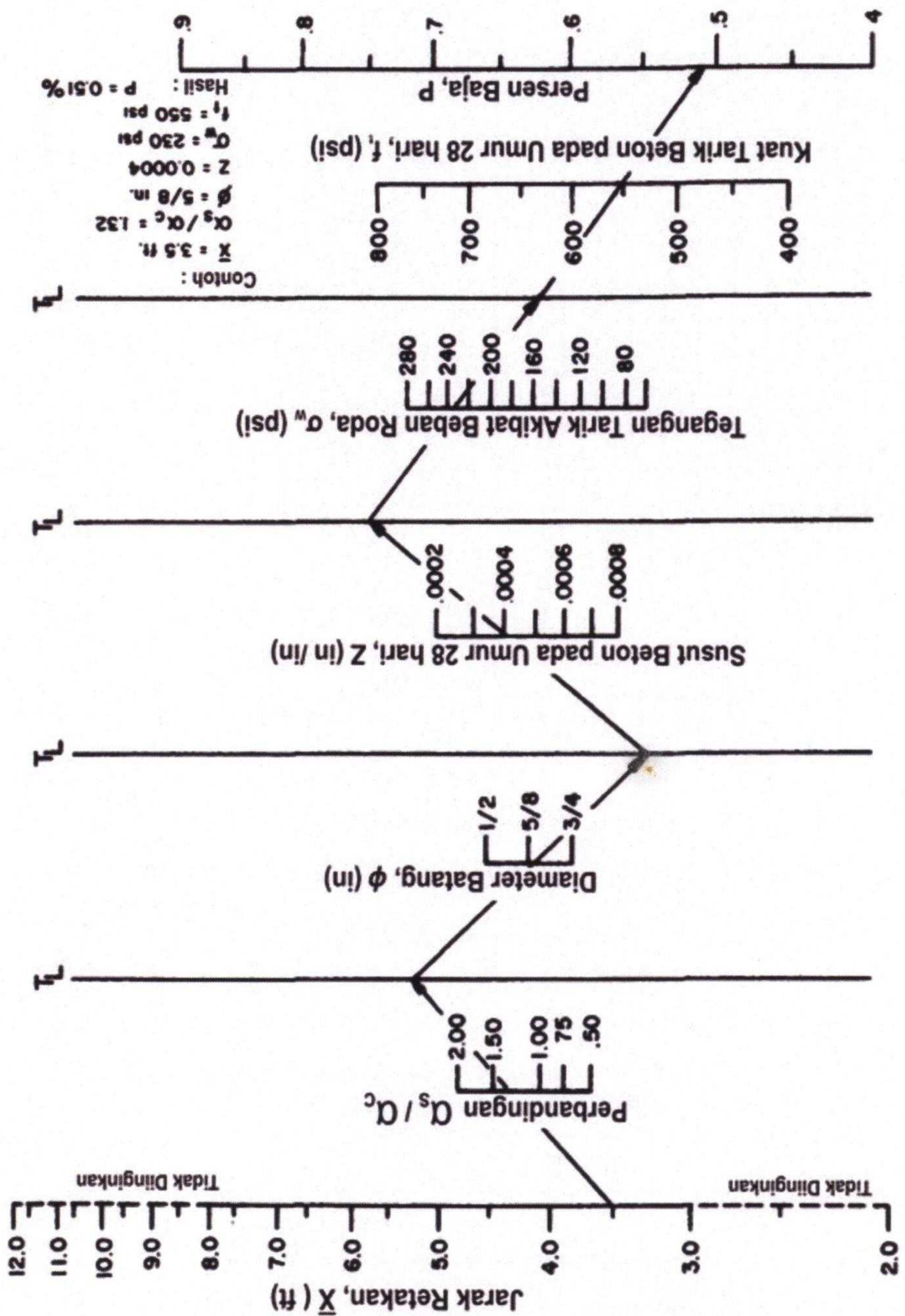
$$\bar{X} = \frac{1,32 \left(1 + \frac{f_t}{1000}\right)^{6,70} \times \left(1 + \frac{\alpha_S}{2\alpha_C}\right)^{1,15} \times (1 + \emptyset)^{2,19}}{\left(1 + \frac{\sigma_w}{1000}\right)^{5,20} \times (1 + p)^{4,60} \times (1 + 1000z)^{1,79}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- \bar{X} = jarak retakan
 z = susut beton pada 28 hari
 σ_w = tegangan tarik akibat beban roda
 f_t = kuat tarik beton pada umur 28 hari
 p = prosentase baja terhadap penampang beton



Gambar 3.1 Kurva penentuan tebal pelat beton (Sumber: AASHTO, 1993)



Gambar 3.2 Prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria jarak retakan (Sumber: AASHTO, 1993)

Penentuan prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria lebar retak ditunjukkan pada persamaan (3) atau Gambar 3.3.

$$CW = \frac{0,00932 \left(1 + \frac{f_t}{1000}\right)^{6,53} \times (1 + \emptyset)^{2,20}}{\left(1 + \frac{\sigma_w}{1000}\right)^{4,91} \times (1 + p)^{4,55}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

CW = lebar retak

\emptyset = diameter baja tulangan

σ_w = tegangan tarik akibat beban roda

f_t = kuat tarik beton pada umur 28 hari

p = prosentase baja tulangan

Penentuan tulangan memanjang minimum untuk memenuhi kriteria tegangan baja, ditunjukkan pada persamaan (4) atau Gambar 3.4 sebagai berikut.

$$\sigma_s = \frac{47,3 \left(1 + \frac{DT_D}{100}\right)^{0,425} \times \left(1 + \frac{f_t}{1000}\right)^{4,09}}{\left(1 + \frac{\sigma_w}{1000}\right)^{3,14} \times (1 + 1000z)^{0,494} \times (1 + p)^{2,74}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

σ_s = tegangan baja tulangan

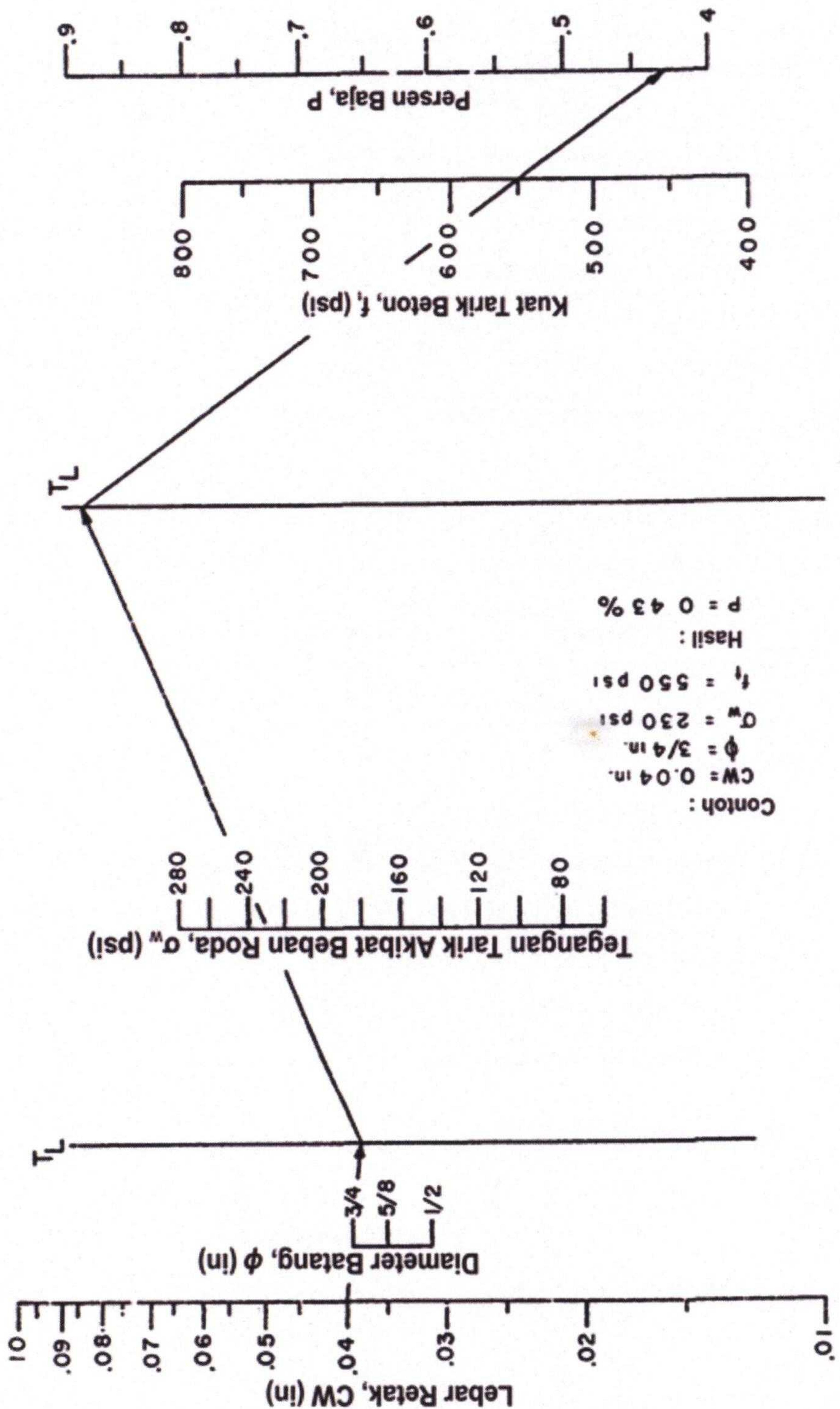
DT_D = perkiraan penurunan temperatur

z = susut beton pada 28 hari

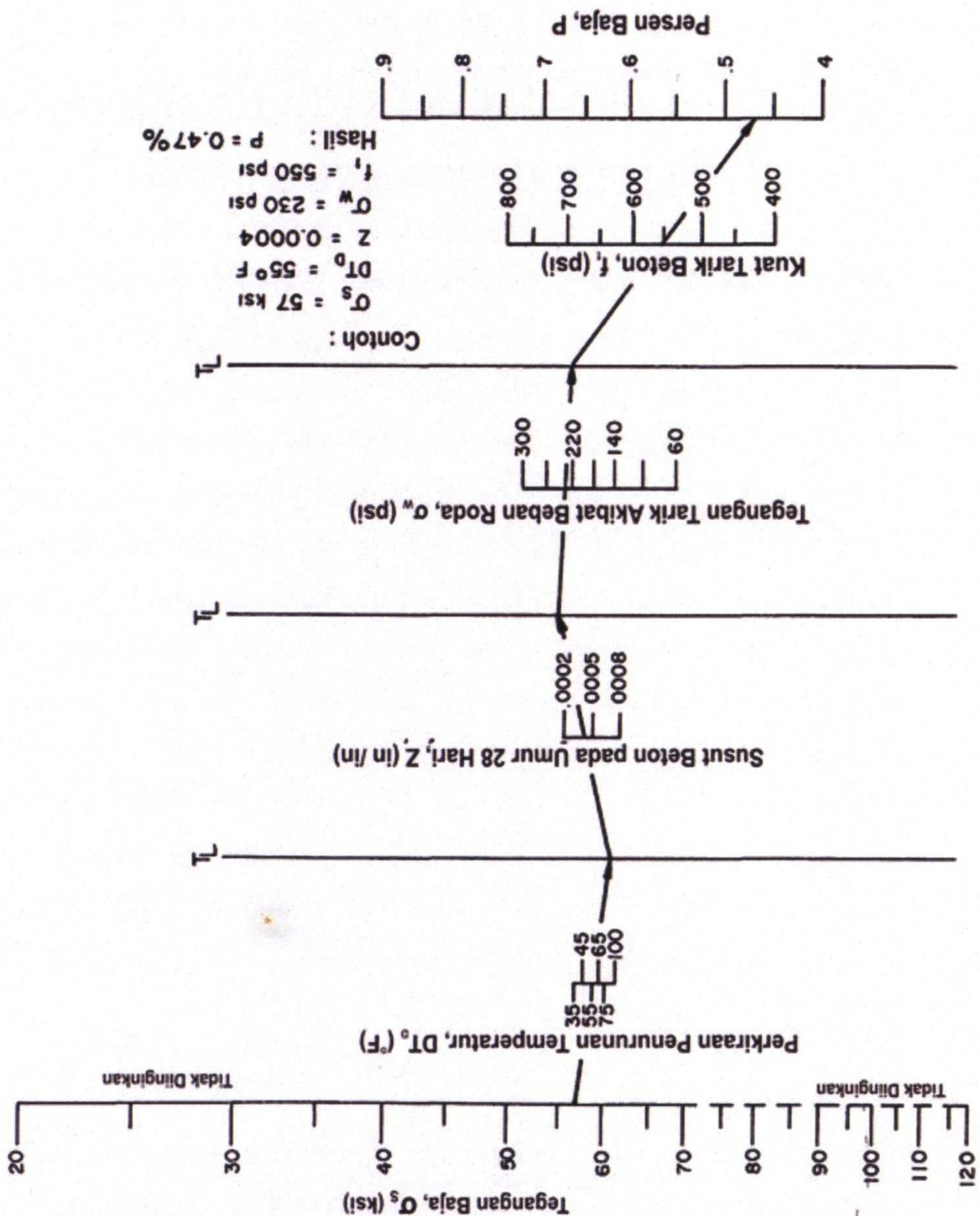
σ_w = tegangan tarik akibat beban roda

f_t = kuat tarik beton pada umur 28 hari

p = prosentase baja tulangan



Gambar 3.3 Minimum prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria lebar retak (Sumber: AASHTO, 1993)



Gambar 3.4 Minimum prosentase tulangan memanjang untuk memenuhi kriteria tegangan baja (*Sumber: AASHTO, 1993*)

Dari hasil persamaan-persamaan maka akan dipilih prosentase luasan tulangan yang memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Luas tulangan yang dipilih harus berada pada rentang luas minimum dan maksimum dari hasil perhitungan yang telah dilakukan. Secara lebih lengkap langkah-langkah perancangan perkerasan beton menerus dengan tulangan dapat dilihat pada Pedoman Perancangan Kaku dengan Tulangan ataupun AASHTO 1993.

BAB 4

METODE PELAKSANAAN PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN

4.1 Metoda Pelaksanaan Perkerasan Beton Menerus dengan Tulangan

Metoda pelaksanaan perkerasan beton menerus dengan tulangan memiliki metoda yang sama dengan pelaksanaan perkerasan beton konvensional. Persyaratan alat, metoda kerja, dan pemeliharaan selama pelaksanaan tidak ada perbedaan yang berarti. Perbedaan pelaksanaan adalah pada proses pemasangan baja tulangan baik memanjang maupun melintang dan adanya pemasangan sambungan ujung pada awal dan akhir dari perkerasan tersebut. Sehingga pedoman Pd T-05-2005-B tentang Pelaksanaan perkerasan jalan beton semen masih dapat digunakan sebagai. Tetapi untuk pelaksanaan lebih detail perkerasan beton menerus dengan tulangan belum tersedia pedoman ataupun manual pada saat ini di Indonesia. Sehingga melihat kondisi tersebut perlu adanya pedoman ataupun manual yang secara detail membahas pelaksanaan dari perkerasan beton dengan tulangan baik dari segi tulangan maupun dari segi beton bila terdapat hal-hal khusus yang cukup berbeda.

4.2 Lapis Fondasi

Dalam perancangan dan pelaksanaan perkerasan beton, lapis fondasi merupakan salah satu bagian yang cukup penting. Lapis fondasi dapat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kinerja perkerasan kaku di atasnya, bila dia dikerjakan dengan baik maka hasil perkerasan beton di atasnya akan baik demikian pula sebaliknya. Ketentuan-ketentuan untuk lapis fondasi di bawah CRCP sama seperti pada jenis perkerasan kaku lainnya. Tetapi dalam hal ini terdapat beberapa hal yang perlu menjadi perhatian untuk lapisan fondasi yang diperuntukkan bagi CRCP, yaitu:

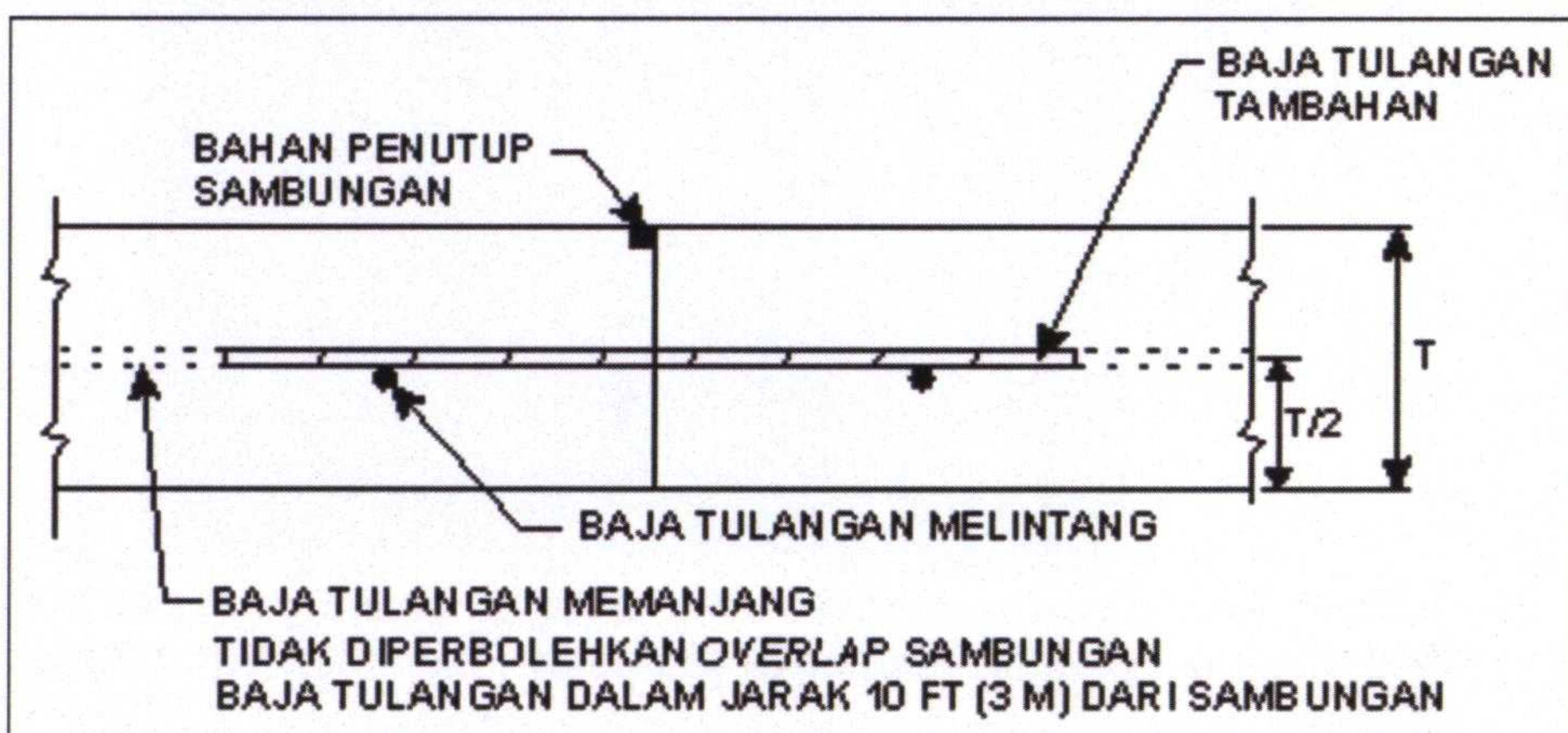
- Permukaan yang rata untuk pelaksanaan dari CRCP,

- Permukaan yang tidak mempunyai penurunan untuk pemasangan yang tepat dari penulangan dan perletakan tebal pelat CRCP yang seragam,
- Kekasaran yang cukup dan seragam dengan pelat CRCP untuk membantu formasi jarak retak yang diinginkan, dan
- Penahan yang tidak tererosi untuk CRCP selama waktu perencanaannya.

Lapisan-lapisan fondasi ini haruslah direncanakan dan dilaksanakan dengan baik agar tidak menimbulkan dampak buruk kepada sistem perkerasan CRCP. Tegantung dari lingkungan sekitar, ketersediaan bahan, lalu lintas, dan spesifikasi, jenis dari fondasi yang akan digunakan dapat berbeda-beda untuk berbagai lokasi pekerjaan meskipun pada lingkungan yang sama.

4.3 Pelaksanaan baja tulangan

Perakitan baja tulangan yang tepat adalah aspek yang sangat penting untuk CRCP. Pada pemasangan baja tulangan memanjang diletakkan di antara $1/2$ dan $1/3$ bagian atas dari pelat perkerasan. Untuk CRCP dengan tebal > 32 mm, diperlukan dua lapis baja tulangan memanjang. Secara umum tipikal penempatan baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Tipikal perletakan baja tulangan memanjang dan melintang
(Sumber: FHWA, 2016)

Berikut beberapa hal yang harus diperhatikan selama pelaksanaan penempatan baja tulangan.

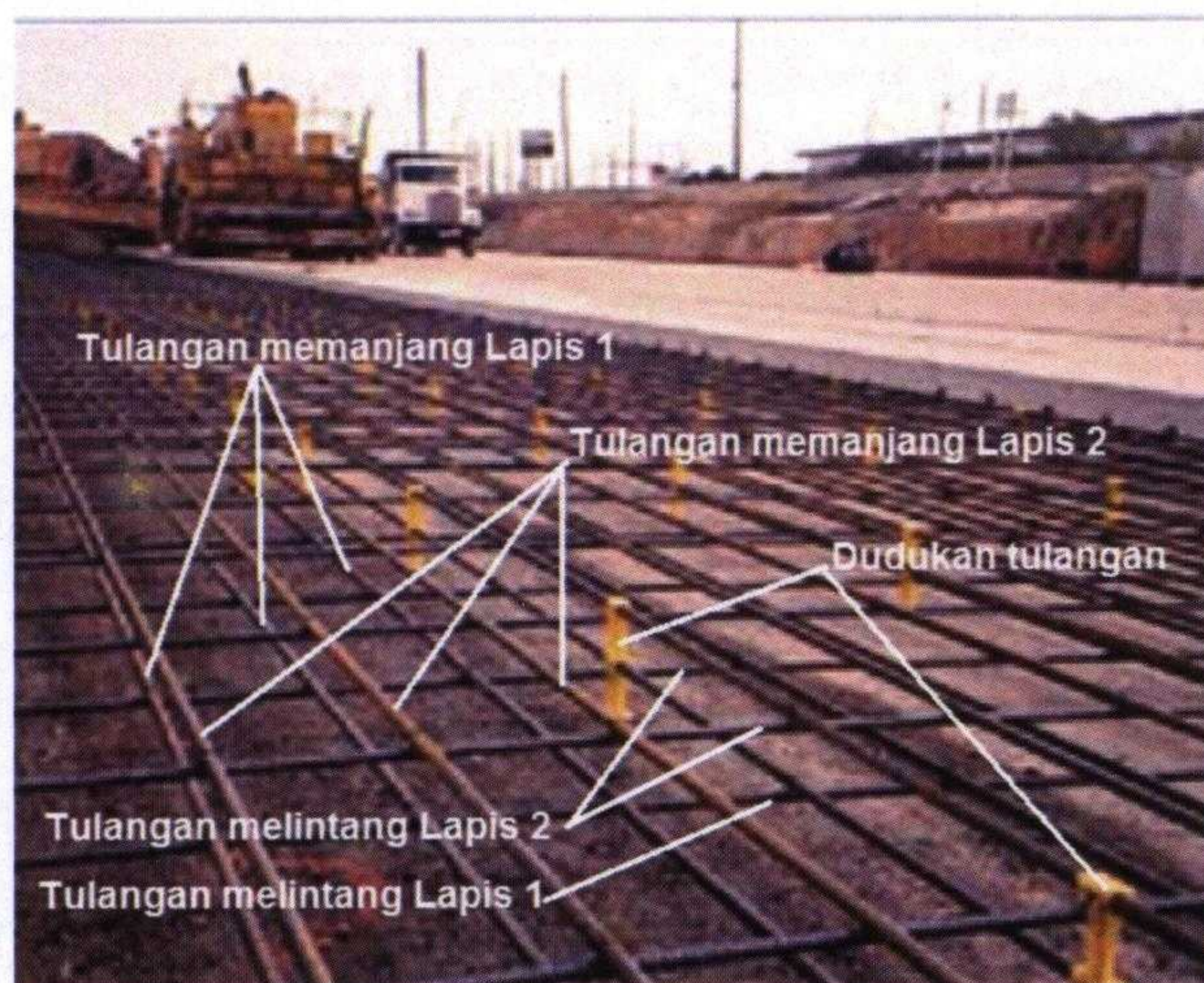
- a. Baja tulangan CRCP dirakit dan ditempatkan secara manual, baik ditempatkan pada tumpuan (kursi) atau pada rakitan melintang. Lokasi tulangan memanjang, melintang, dan *overlap*-nya (*splices*), harus diperiksa secara teratur selama pelaksanaan pekerjaan.
- b. Rakitan tulangan memanjang sudah terpasang sebelum penempatan beton. Rakitan ini dapat terdiri atas berbagai jenis tumpuan (kursi) dan kombinasi penopang, diikatkan dengan baja tulangan melintang. Tumpuan penopangan harus cukup kuat untuk menahan tulangan memanjang dalam toleransi yang ditentukan selama penempatan dan pemadatan beton.
- c. Perakitan baja tulangan harus memiliki konfigurasi landasan yang cukup kuat untuk mendukung berat tulangan dan beton serta beban pekerja yang berjalan di atas rakitan tulangan tanpa runtuh (Gambar 4.2), atau dapat menghambat aliran beton selama penempatan dan pemadatan beton.



Gambar 4.2 Pekerja memeriksa baja tulangan memanjang dan melintang pada tumpuannya (*Sumber: FHWA, 2016*)

- d. Batang baja tulangan melintang ditempatkan pertama.
- e. Baja tulangan memanjang kemudian diposisikan pada tempatnya dan diikatkan ke batang melintang sesuai dengan toleransi yang ditentukan. Pengikatan batang tulangan memanjang ke batang melintang dengan interval jarak antara 1,2 dan 1,8 m.

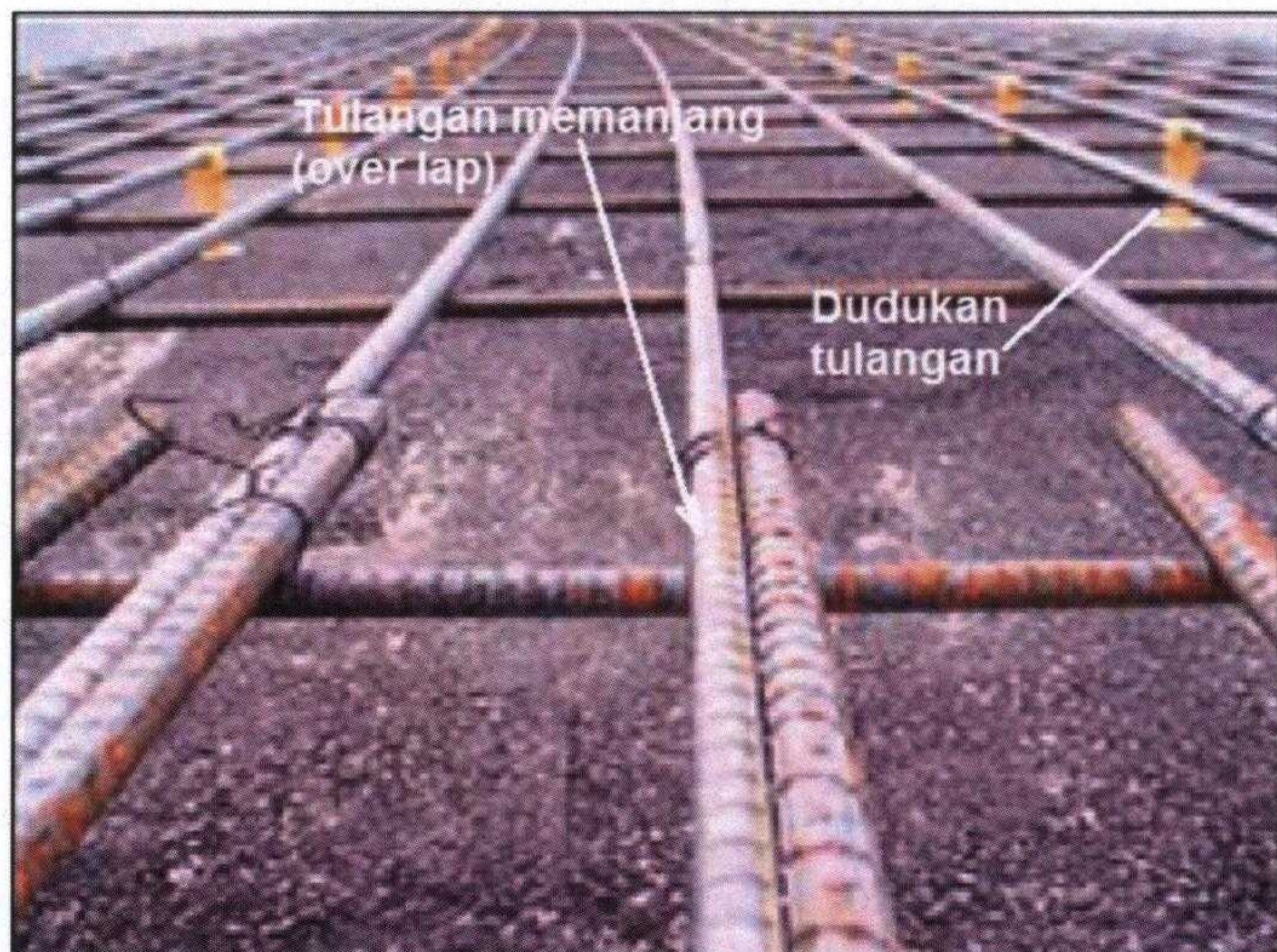
- f. Pengelasan tulangan memanjang dan melintang tidak diijinkan. Penggunaan pasak untuk menjangkar tatakan tumpuan baja tulangan pada fondasi tidak diperlukan.
- g. Contoh tulangan yang dipasang pada dudukan dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.
- h. Penempatan dan jarak tumpuan harus diatur sehingga tulangan ditopang secara seragam pada posisinya dan tidak bergerak ketika beton dicorkan. Baja tulangan tidak boleh melendut atau bergeser secara permanen. Jarak penopang baja tulangan adalah fungsi dari ukuran dan jarak baja tulangan, rancangan tumpuan (kursi), dan dukungan lapisan fondasi. Secara umum, jarak tumpuan baja tulangan melintang tidak boleh lebih dari 0,9 m, dan baja tulangan memanjang tidak lebih dari 1,2 m.



Gambar 4.3 Dua Lapis baja tulangan memanjang dan melintang di atas tumpuan (*Sumber: FHWA, 2016*)

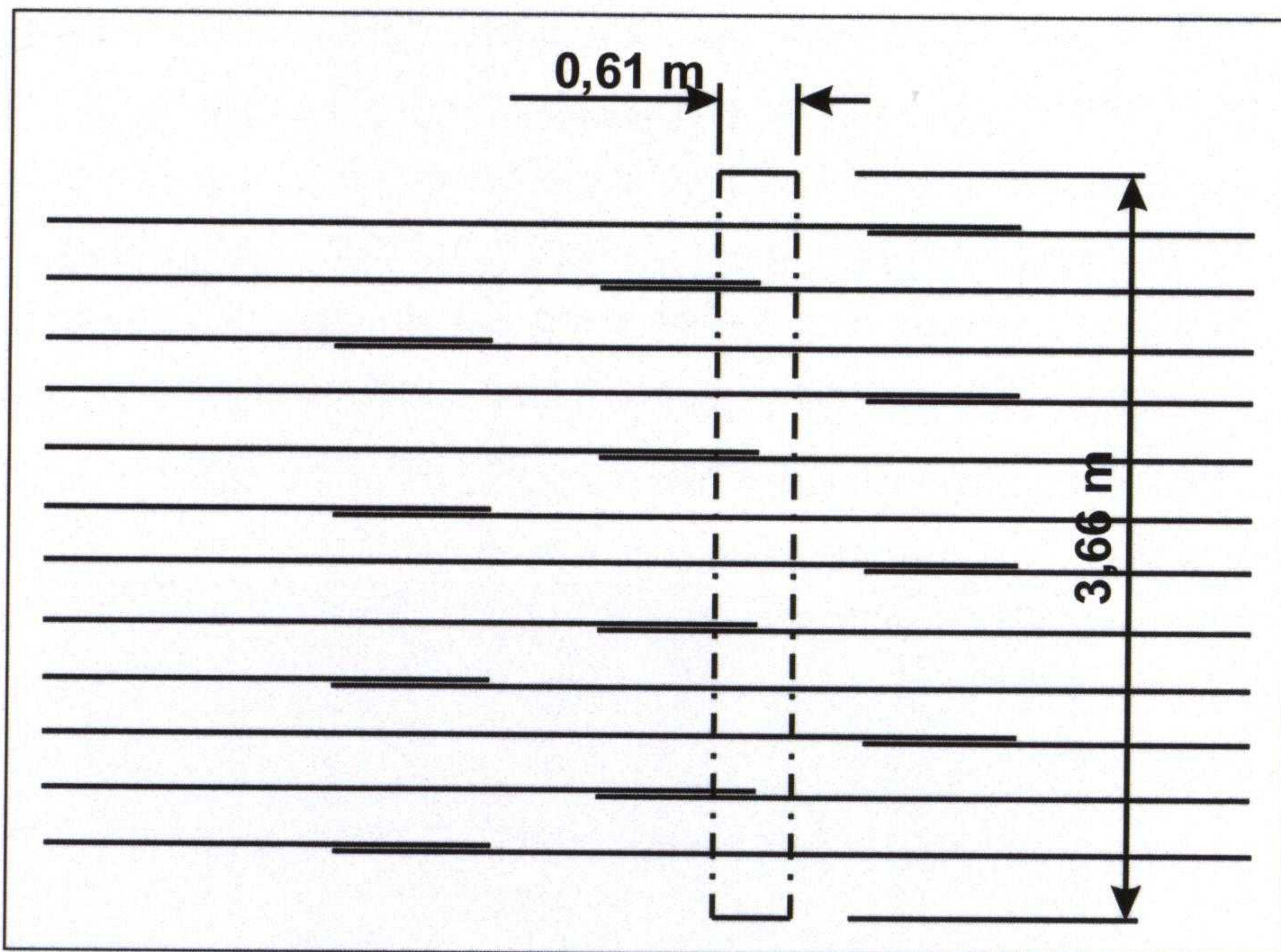
4.4 Sambungan antar baja tulangan memanjang

Tulangan memanjang yang disambung harus dipasang tumpang-tindih (*overlapped*). Dalam Gambar 4.4 ditunjukkan pemasangan sambungan baja tulangan yang diperlukan.

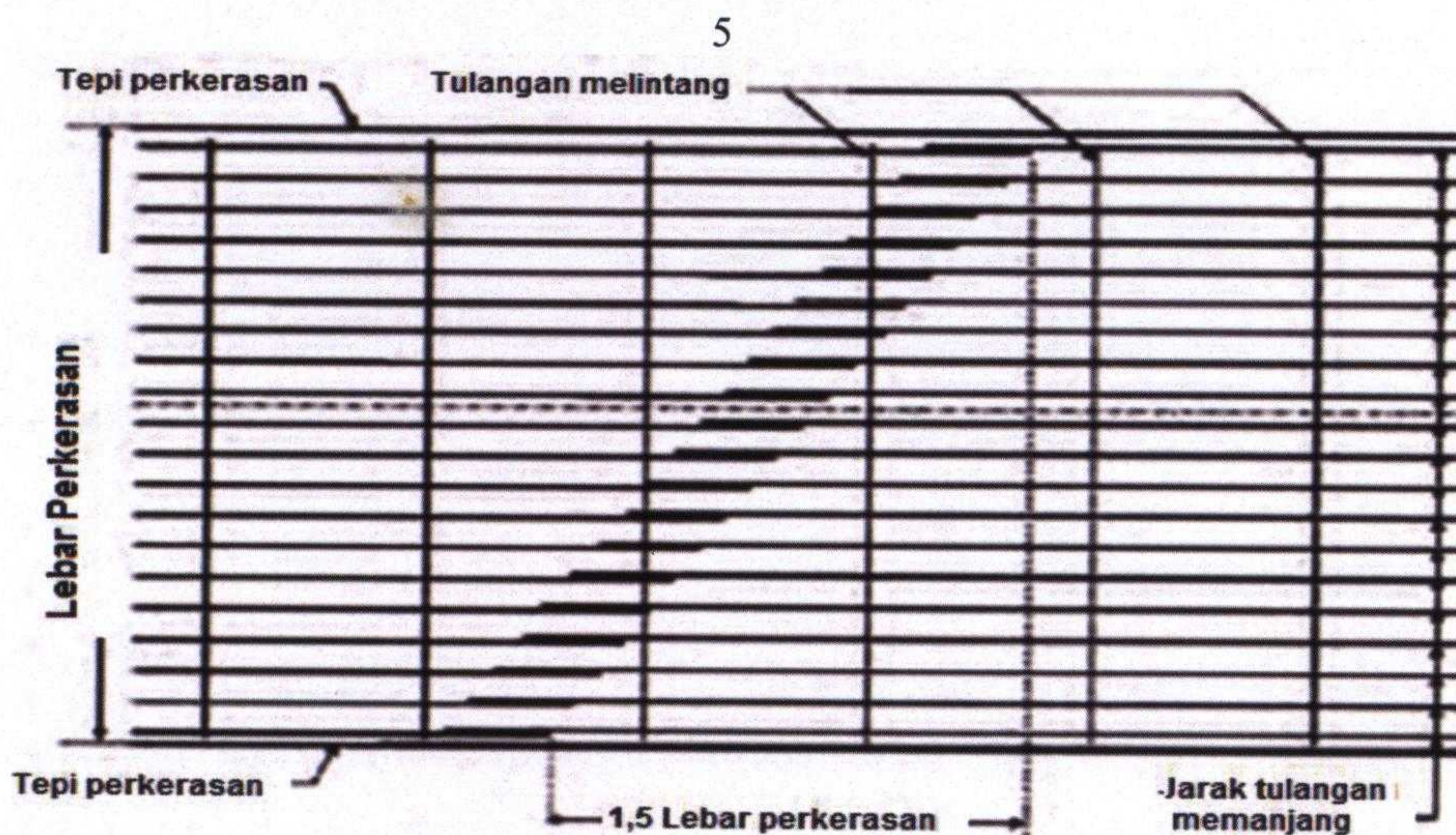


Gambar 4.4 Posisi sambungan baja tulangan yang tumpang tindih (Sumber: FHWA, 2016)

Pola sambungan baja tulangan dapat dibuat menyerong, bertangga, dan dikelompokkan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Untuk sambungan bertangga tidak lebih dari $\frac{1}{3}$ panjang sambungan tumpang-tindih harus dipasang. Jarak minimum sambungan bertangga adalah 1,2 m. Untuk sambungan baja tulangan pola menyerong (*skewed*) dibuat dengan sudut 30° atau dengan tangen 1:2. Terdapat batasan jumlah sambungan yang diperbolehkan dalam bidang luasan 0,61 x 3,66 m yaitu maksimal berjumlah $\frac{1}{3}$ dari jumlah tulangan yang terdapat pada bidang luasan tersebut. Selain letak perletakan baja tulangan hal lain yang perlu diperhatikan adalah sambungan (*overlap*) antara baja tulangan memanjang harus memiliki panjang 25 hingga 33 kali diameter baja tulangan yang digunakan. Toleransi yang diizinkan untuk baja tulangan memanjang adalah ± 13 mm untuk arah vertikal dan ± 25 mm arah horizontal.



Gambar 4.5 Sambungan tulangan memanjang bertangga pada CRCP
(Sumber: FHWA, 2016)



Gambar 4.6 Tipikal pola pemasangan menyerong (*skewed*) dan sambungan tulangan memanjang beton CRCP (Sumber: FHWA, 2016)

4.5 Proses Penghamparan Beton

Pelaksanaan pengecoran beton dapat menggunakan acuan tetap (*Fixed form*) atau acuan bergerak (*slip-form*). Acuan tetap memerlukan acuan tepi, yang biasanya dibongkar setelah berumur minimal satu hari. Acuan bergerak

tidak memerlukan acuan tepi karena alat dalam metode tersebut dapat mengekstrusi beton dalam bentuk penampang yang diinginkan (Gambar 4.7), dan merupakan operasi penghamparan beton yang paling efisien dan umum untuk perkerasan jalan raya. Penghampar beton jenis acuan bergerak dilengkapi cetakan yang, ketika alat tersebut melewati tumpukan beton di depannya, akan menyebarkan beton segar dan menggetarnya, membentuk beton dengan penampang yang sesuai dengan rancangan.



Gambar 4.7 Penghampar beton jenis acuan bergerak (*slip-form*) (Sumber: FHWA, 2016)

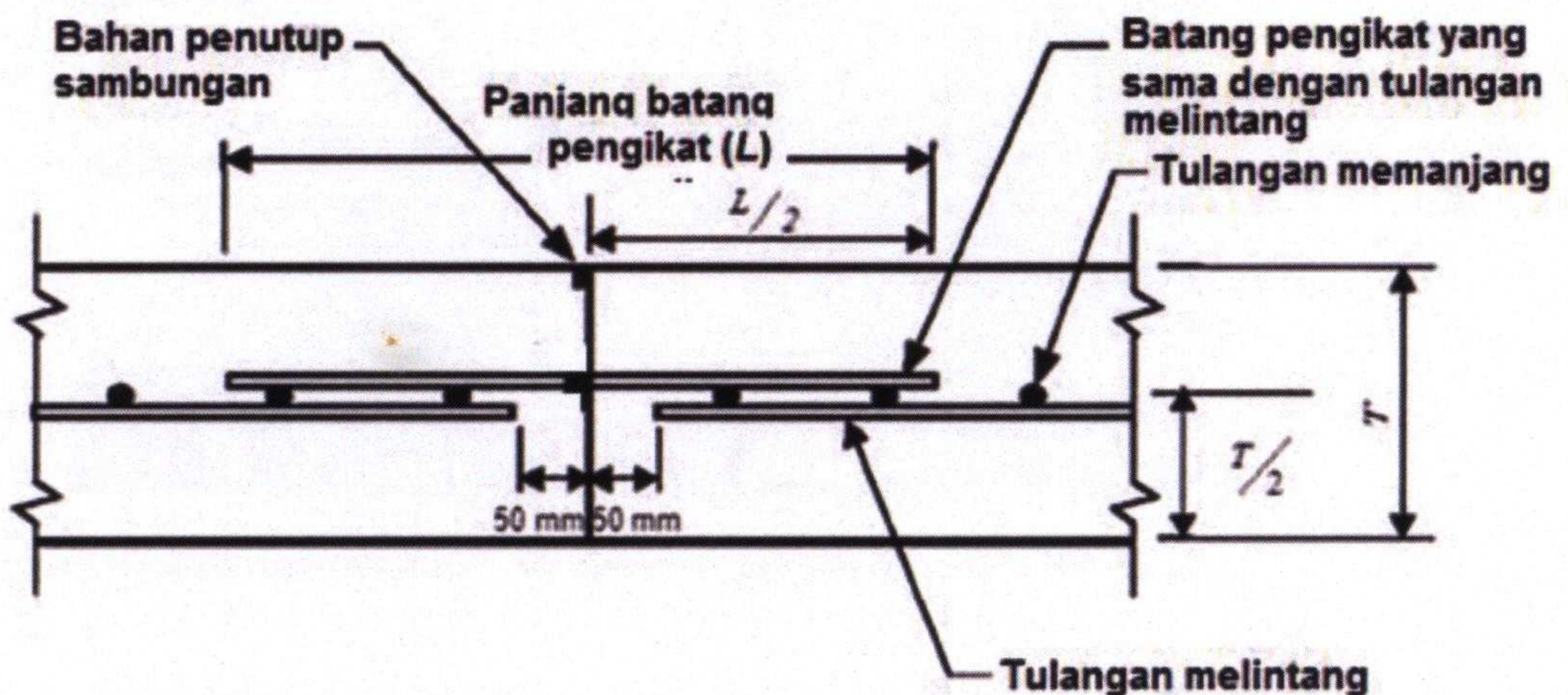
4.6 Sambungan

Selain terdapatnya baja tulangan memanjang dan melintang pada sistem perkerasan beton, perbedaan lainnya dibandingkan dengan perkerasan beton konvensional adalah terdapatnya sambungan ujung pada pertemuan-pertemuan dengan perkerasan lain. Selain itu terdapat sambungan memanjang pada CRCP digunakan antar lajur lalu lintas, dan antara lajur luar/dalam dan bahu beton. Sambungan melintang diperlukan untuk tujuan konstruksi pada awal dan akhir operasi penghamparan harian. Sambungan kontraksi transversal, seperti yang digunakan pada perkerasan beton bersambung, tidak digunakan dalam CRCP.

4.6.1 Sambungan memanjang

Sambungan memanjang biasanya terletak di antara jalur lalu lintas dan antara lajur dan bahu beton. Tie bar atau penguat transversal harus dipasang sepanjang sambungan memanjang serta pada sambungan konstruksi untuk mencegah pemisahan.

Sambungan memanjang yang diikat diilustrasikan pada Gambar 4.8 dan ditentukan ketika banyak lajur perkerasan beton dihampar pada waktu yang berbeda. Profil sambungan memanjang tidak menyediakan transfer beban antara lajur yang berdekatan, dan sambungan bisa terbuka dari waktu ke waktu. Karena itu, batang baja sirip dipasang secara teratur di sepanjang sambungan memanjang untuk memberikan transfer beban yang ketat di sepanjang sambungan.

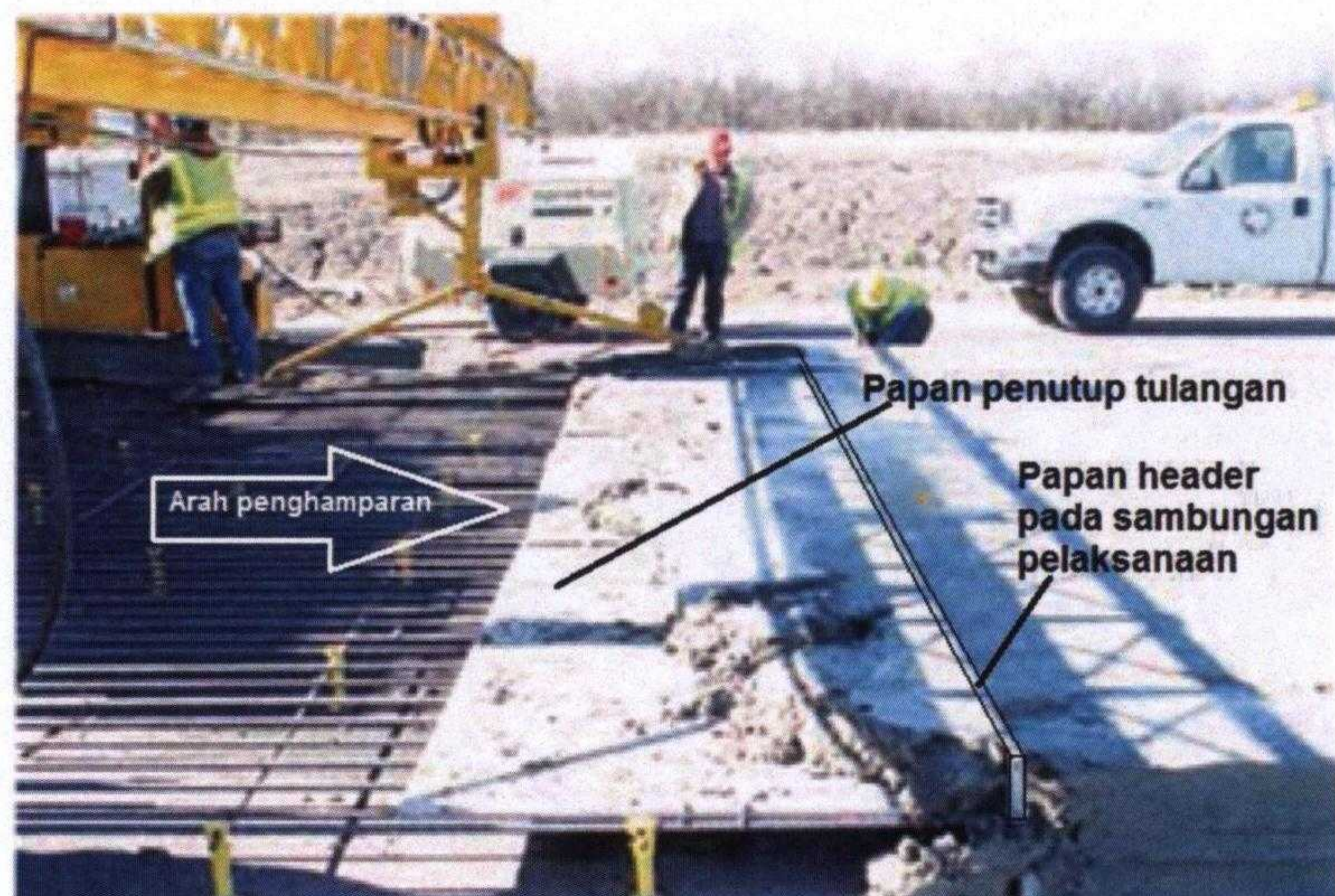


Gambar 4.8 Sambungan tulangan memanjang yang diikat dengan batang pengikat (Sumber: FHWA, 2016)

4.6.2 Sambungan pelaksanaan melintang

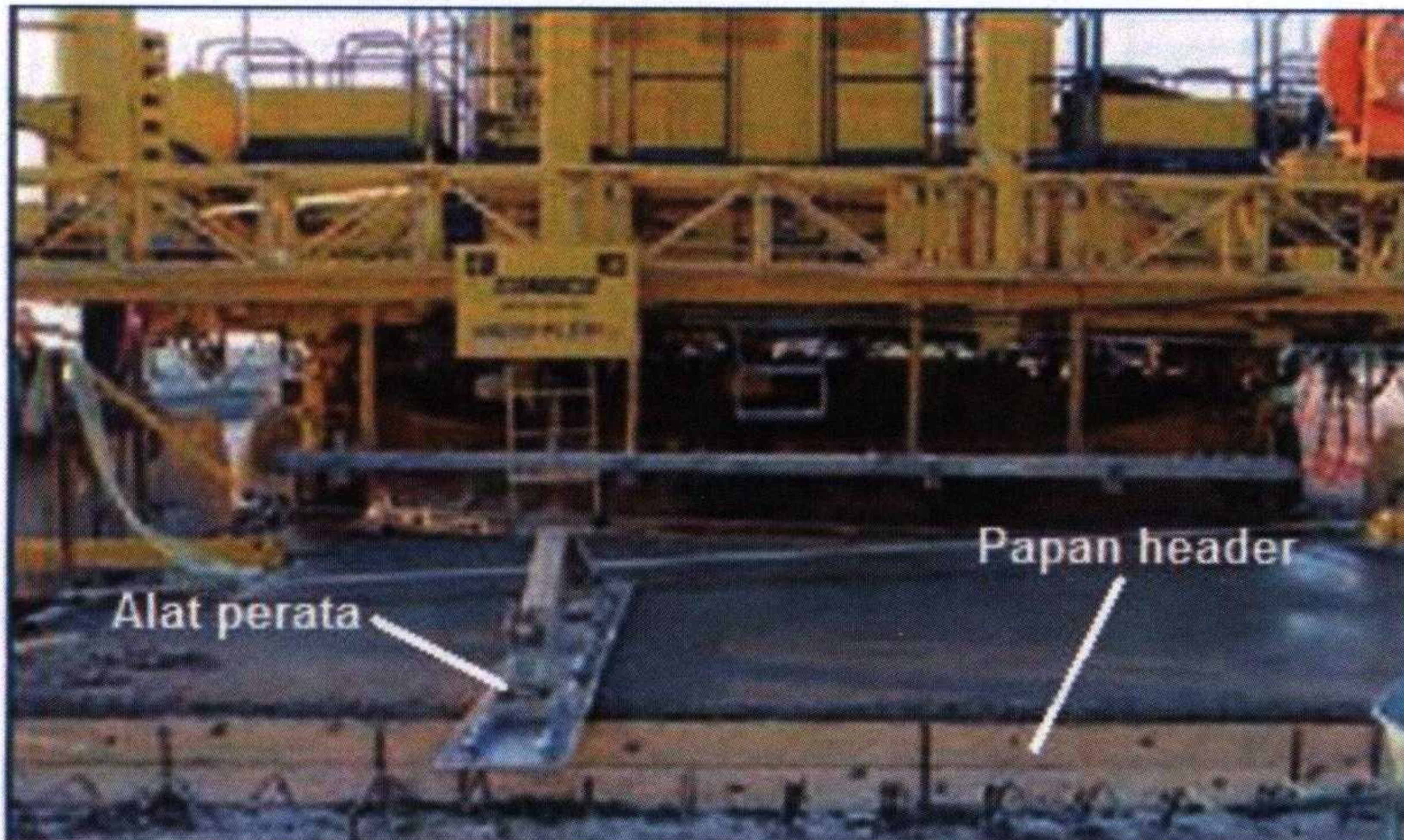
Sambungan pelaksanaan melintang dibentuk pada awal dan akhir operasi penghamparan beton harian, atau setiap kali operasi penghamparan beton yang dihentikan cukup lama (lebih dari 45 menit). Sambungan pelaksanaan melintang sangat penting untuk menjaga kelurusan tulangan memanjang.

Sambungan pelaksanaan melintang dibentuk dengan papan yang dipasang pada posisi tegak lurus sebagai *header*, sesuai dengan penampang melintang pelat beton. Papan tegak kemudian dilubangi sesuai dengan jarak tulangan memanjang, dan batang tulangan memanjang diposisikan masuk dalam lubang tersebut serta didukung oleh tumpuan/dudukan tulangan. Pada akhir penghamparan harian, baja tulangan di sisi kiri papan harus ditutup dengan panel kayu untuk memudahkan pembetonan (Gambar 4.9). Selanjutnya, beton dipadatkan dan diselesaikan sampai mencapai papan tegak pada hari tersebut. (Gambar 4.10).

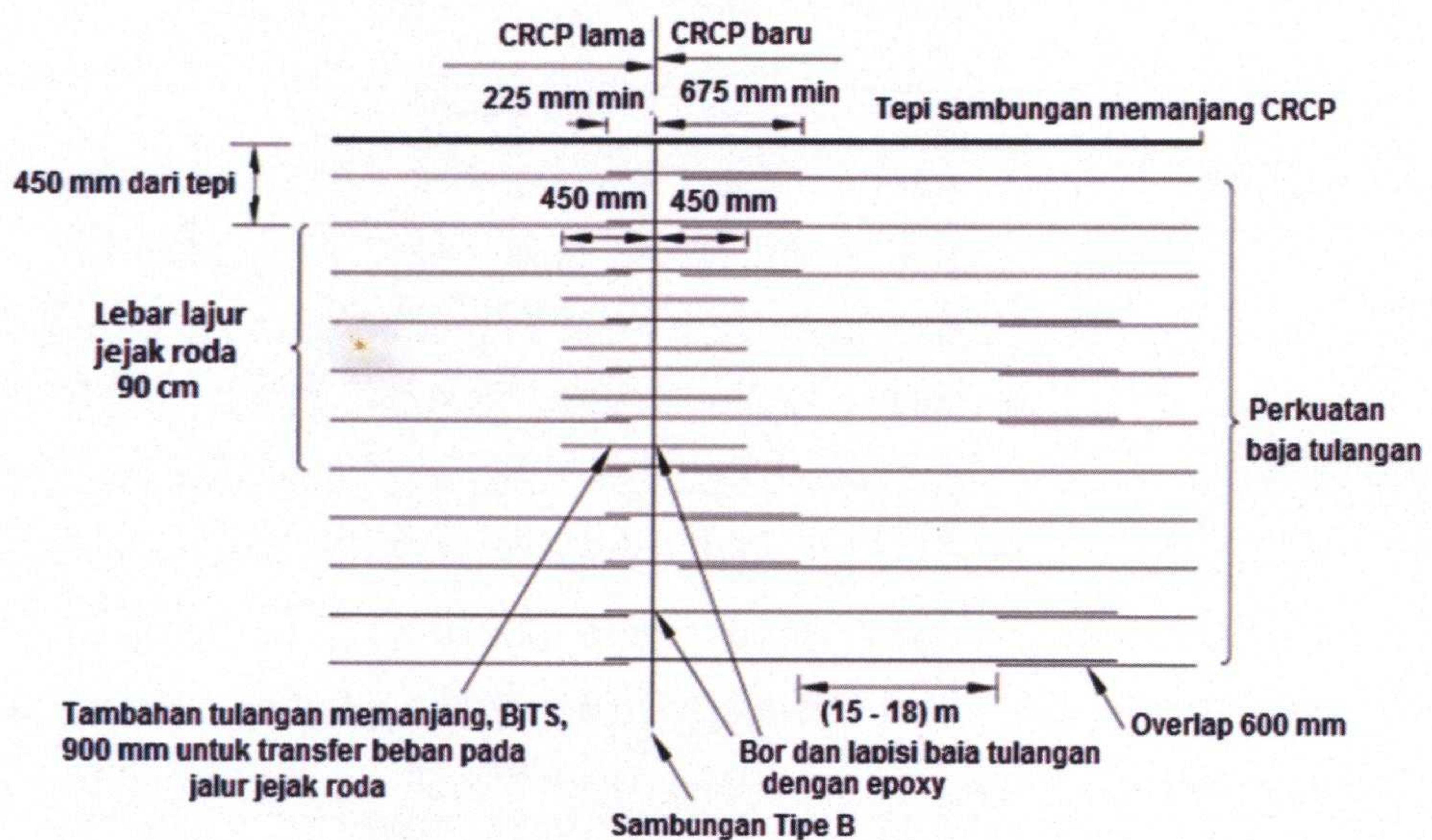


Gambar 4.9 Penempatan panel *header* dari kayu sementara pada sambungan konstruksi melintang (Sumber: FHWA, 2016)

Sambungan konstruksi melintang memerlukan tambahan baja tulangan dibandingkan biasanya (Gambar 4.11). Jumlah minimum baja tulangan memanjang pada sambungan adalah 1,0 persen dari luas penampang beton di lokasi tersebut. Potongan baja sepanjang 1,8 m dengan ukuran, bertingkat, dan kedalaman yang sama untuk memperkuat sambungan melintang. *Overlap* 0,9 m di belakang sambungan, atau *overlap* 2,4 m di depan *header* (ke arah gerakan penghamparan), harus diperkuat. Direkomendasikan agar panjang *overlap* menjadi dua kali lipat atau panjang batang baja tambahan 1,8 m, dengan ukuran yang sama dengan tulangan memanjang.



Gambar 4.10 Penyelesaian beton pada *header* pada sambungan konstruksi melintang (Sumber: FHWA, 2016)



Gambar 4.11 Sambungan konstruksi melintang dengan tambahan baja tulang pada lajur jejak roda (Sumber: FHWA, 2016)

4.6.3 Sambungan Ujung

Gerakan memanjang pada ujung CRCP bisa mencapai 50 mm atau lebih karena perubahan temperatur dan kelembaban. Gerakan tambahan dapat terkendali oleh tahanan gesek pada lapisan fondasi. Dalam CRCP,

sambungan ujung (transisi) digunakan di lokasi tertentu dengan maksud mencegah kerusakan dan meminimalkan kebutuhan pemeliharaan.

A. Transisi CRCP dengan Perkerasan Beton atau Jembatan

Tujuan dari sambungan ujung (transisi) pada CRCP ke perkerasan dan jembatan lain adalah untuk mengisolasi pergerakan CRCP. Setiap alternatif sambungan ujung terdiri atas 3 macam yaitu:

- 1) Tipe A, sambungan kontraksi menggunakan dowel baja tulangan polos atau smooth dowel (SD),
- 2) Tipe B, sambungan pelaksanaan menggunakan baja tulangan sirip atau deformed bar (DB),
- 3) Tipe C, sambungan isolasi menggunakan penebalan (TE), flens lebar atau wide flens (WF) dan bantalan beton atau sleeper slab (SS).

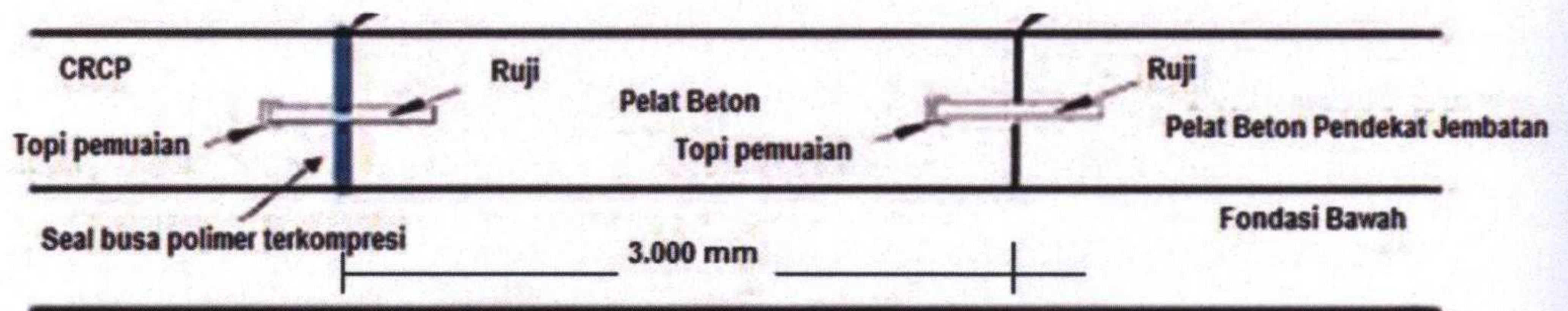
a) Alternatif 1: *Sleeper slab* dan Flens Lebar (WF)

Alternatif pertama dapat dilihat pada Gambar 4.12, yaitu bantalan *slab* (*sleeper slab*) dengan bagian profil baja balok yang tertanam. Pentup berkompresi busa poliester dengan tebal 51 mm dipasang antarmuka antara CRCP dan *beam* untuk mengakomodasi gerakan CRCP. Balok diikat ke sambungan pelat beton dengan pengaku 200 mm yang dilas ke badan profil baja balok. Pengaku baja tulangan berdiameter 19 mm dengan jarak 460-mm sumbu-ke-sumbu. Lebar *sleeper slab* adalah 1,5 m dengan ketebalan minimum 250 mm. Detail ini dapat diterapkan jika gerakan dibatasi pada satu sisi sambungan saja.

Kelemahan alternatif ini adalah tidak kedap air sehingga perlu dilakukan galvanisasi pada baja profil balok. Balok dapat terkena dampak *rutting* akibat ban kendaraan.

c) Alternatif 3 Transisi CRCP dan Ruji (*Dowel Joint*)

Alternatif ketiga, ditunjukkan pada Gambar 4.14, yaitu menggunakan sambungan dowel untuk transisi dari CRCP ke perkerasan beton bersendi atau ke pelat pendekat jembatan. Desain ini membutuhkan bahan penutup sambungan melintang pada pelat beton untuk menghambat masuknya material padat; Sambungan dowel diharapkan mengakomodasi seluruh gerakan CRCP. Keuntungan dari desain ini adalah kesederhanaan dan kemudahan pelaksanaan perawatan. Alternatif ini dapat mengurangi sambungan muai pada pendekat jembatan.



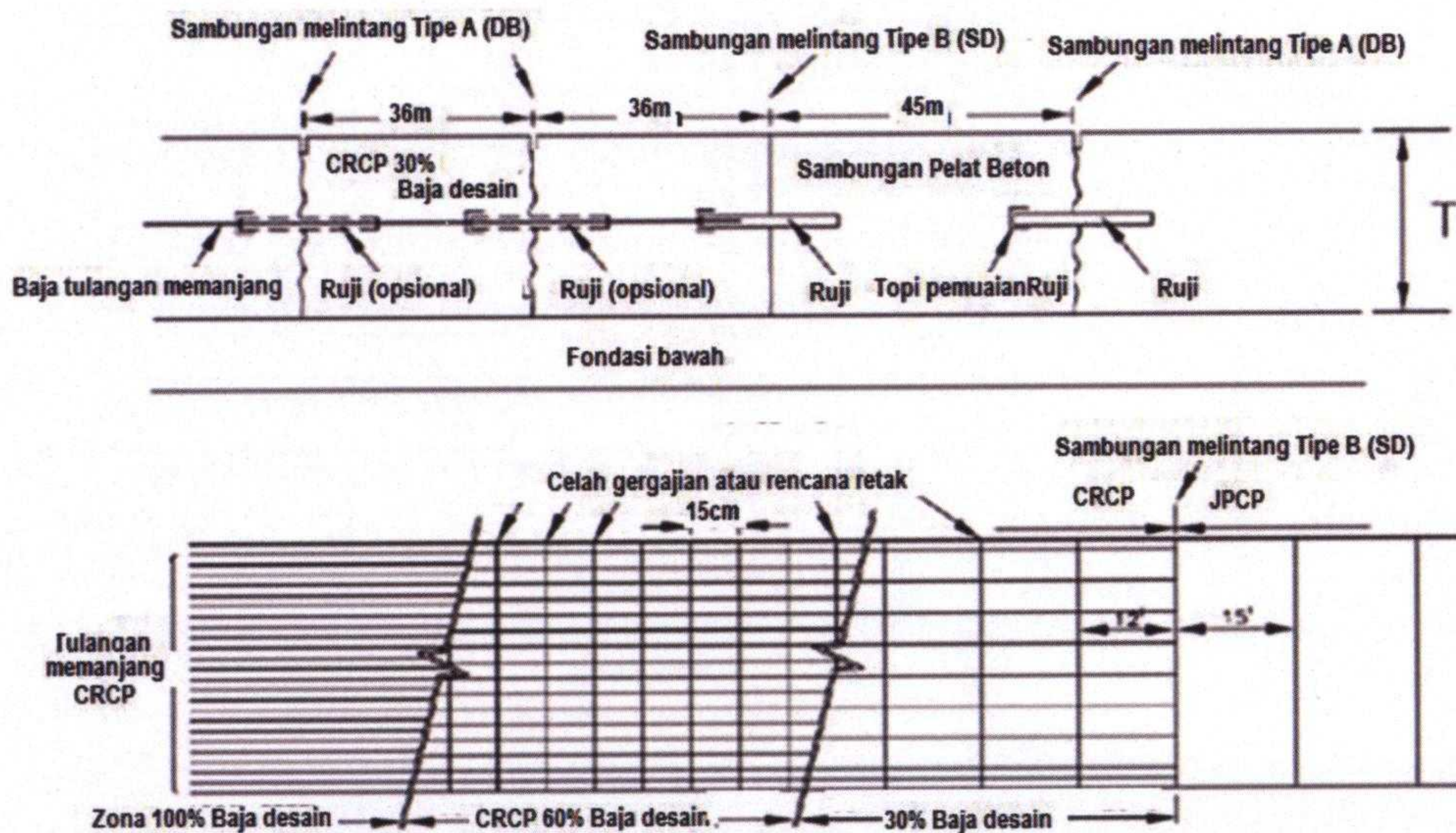
Gambar 4.14 Sambungan transisi CRCP menggunakan Sambungan Ruji (*Dowel Joint*) (Sumber: FHWA, 2016)

d) Alternatif 4 Transisi CRCP dan gergajian (*saw cut*) dan sambungan ruji

Alternatif keempat, ditunjukkan pada Gambar 4.15, yaitu memanfaatkan reduksi gradual baja tulangan memanjang sepanjang 73,2 m zona CRCP. Secara umum penjelasannya adalah sebagai berikut:

- Bagian 36,6 m pertama dari zona transisi, mencakup ujung sambungan CRCP, diperkuat dengan sekitar 30% baja-desain;
- Bagian 36,6 m berikutnya dari zona transisi diperkuat dengan sekitar 60% baja-desain.
- Celah gergajian pada interval jarak 3,7 m digunakan di bagian "30%" dan membutuhkan ruji untuk mengakomodasi dan mengantisipasi gerakan pada celah sambungan.
- Bagian "60%" digergaji pada interval jarak 1,8 m untuk menginduksi pola retak melintang yang seragam.

Semua pemotongan gergajian dilakukan segera setelah seting awal beton. Alternatif transisi ini dimaksudkan untuk mendistribusikan secara seragam sambungan dan retakan melintang, dan gerakannya di sepanjang zona transisi pada pergerakan CRCP di satu lokasi.

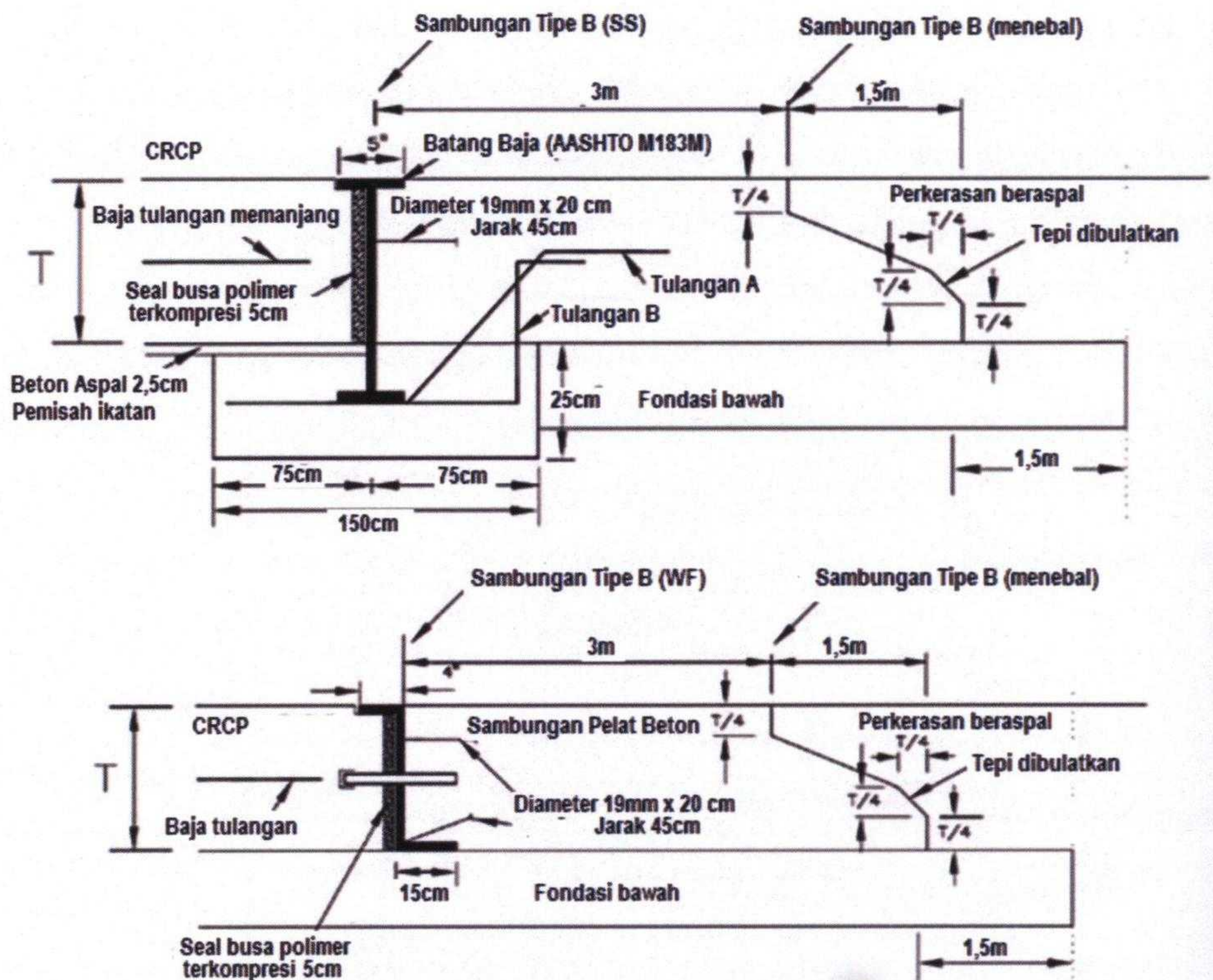


Gambar 4.15 Sambungan transisi CRCP menggunakan tulangan baja memanjang dengan sambungan gergajian dan sambungan ruji (Sumber: FHWA, 2016)

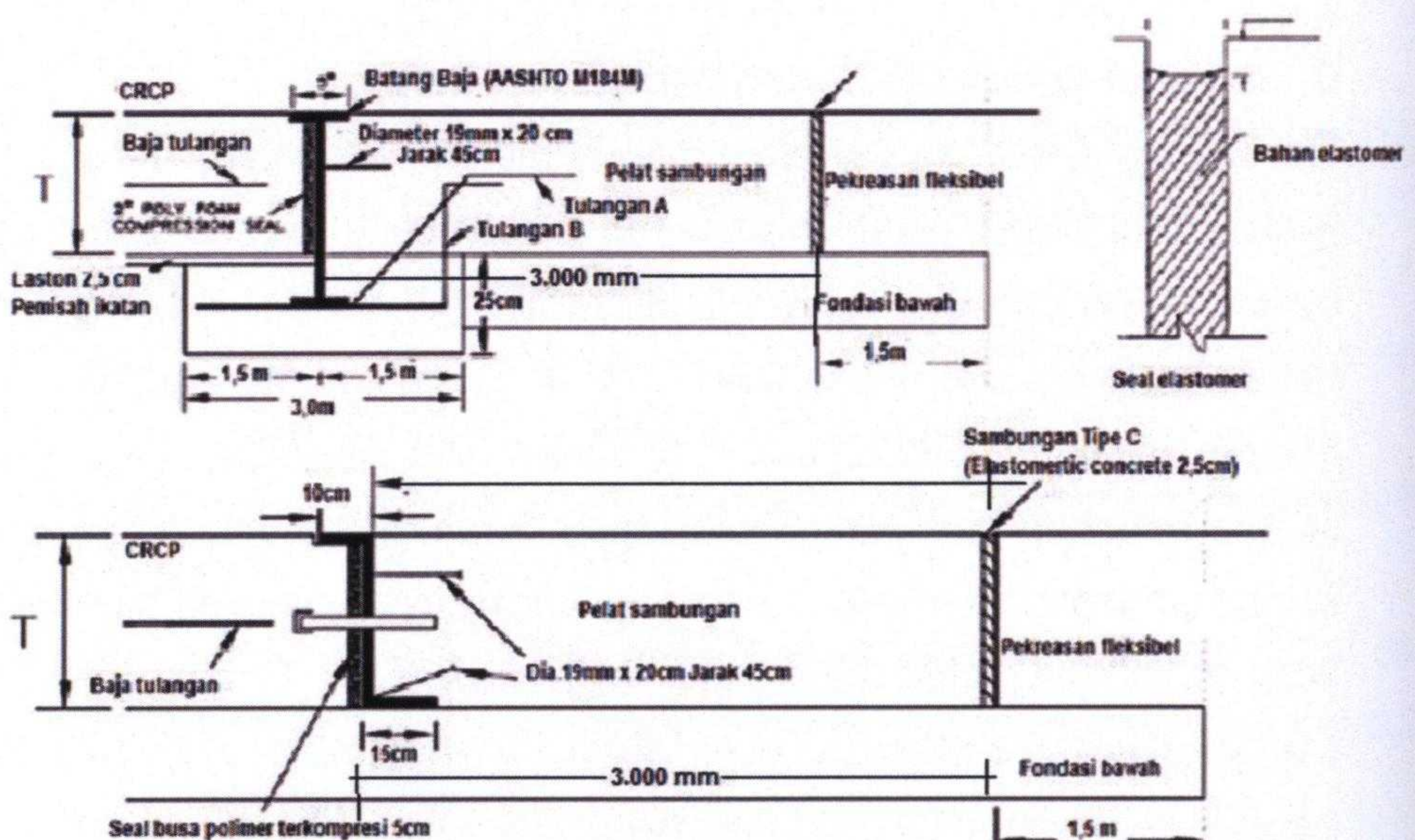
B. Transisi Antara CRCP dan Perkerasan Beraspal

Transisi dari CRCP ke perkerasan aspal memiliki kesamaan dengan transisi antara CRCP dan perkerasan beton bersambung karena detail segmen transisi beton bersendi digabungkan. Pilihan yang lebih disukai untuk jenis transisi ini ditunjukkan pada Gambar 4.16. Desain ini menggunakan I-beam dengan penutup busa plastik terkompresi dan ketebalan yang dikurangi secara bertahap dari perkerasan beton bersambung dengan peningkatan ketebalan aspal. Alternatif lain adalah dengan menggunakan transfer beban yang disediakan melalui penggunaan *sleeper slab*.

Menggabungkan perkerasan beton yang menebal (*tapered*) ke dalam desain transisi, bahan penutup elastomer dapat digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17 untuk mengakomodasi potensi *end-movement* dari CRCP.



Gambar 4.16 Sambungan transisi CRCP dengan Perkerasan Beraspal menggunakan penebalan pelat beton (Sumber: FHWA, 2016)



Gambar 4.17 Sambungan transisi CRCP dengan Perkerasan Beraspal menggunakan bahan penutup elastomer (Sumber: FHWA, 2016)

BAB 5

PERANCANGAN PENERAPAN PERKERASAN BETON MENERUS DENGAN TULANGAN DI PANTURA JAWA BARAT

5.1 Rencana Perancangan Penerapan Berdasarkan AASHTO 1993

Perancangan penerapan yang didasarkan kepada AASHTO 1993 dilakukan pada jalan eksisting perkerasan beraspal pada daerah Pantura Jawa Barat. Kondisi perkerasan merupakan perkerasan beraspal dengan kondisi masih cukup baik. Kerusakan pada perkerasan eksisting yang terjadi maka perlu dilakukan perbaikan agar perkerasan beton yang akan dilakukan berada di atas lapisan yang mantap. Kondisi perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Kondisi eksisting rencana penerapan (*Sumber: Dokumentasi, 2018*)

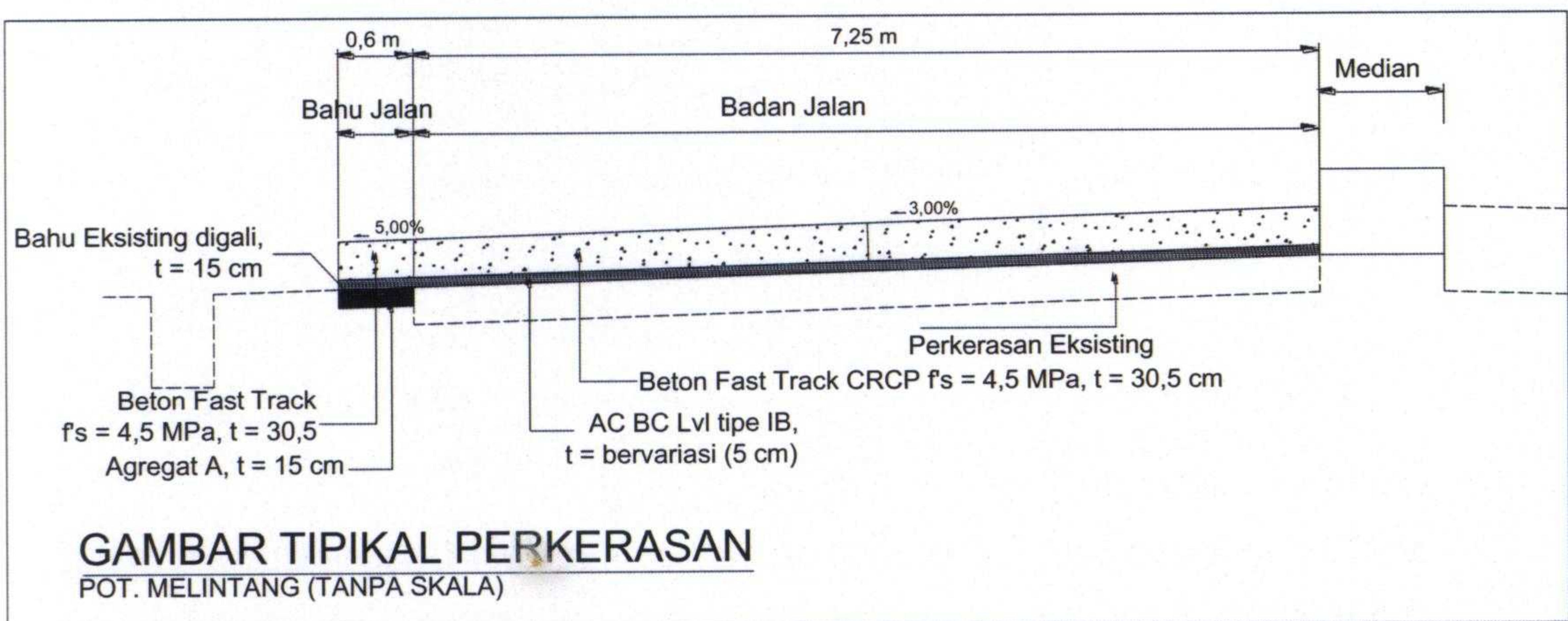
Kondisi volume lalu lintas yang cukup berat juga menjadi alasan rencana penerapan perkerasan beton menerus dengan tulangan ini untuk diterapkan. Kondisi lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Kondisi lalu lintas dan jenis kendaraan pada jalan eksisting
(Sumber: Dokumentasi, 2018)

Untuk perancangan tebal perkerasan maupun kebutuhan dari baja tulangan didasarkan kepada AASHTO 1993. Tebal perkerasan direncanakan adalah 30,5 cm dengan beban lalu lintas yang dapat dilayani adalah 218.031.993 ESAL hingga umur rencana 23 tahun. Tipikal desain perkerasan beton menerus dengan tulangan ini dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Perancangan kebutuhan tulangan didasarkan kepada kriteria-kriteria yang telah ditentukan terlebih dahulu. Kebutuhan baja tulangan ini diharapkan dapat memenuhi persyaratan dalam perhitungan kebutuhan tulangan, yaitu jarak retakan (min. 3,5 kaki (0,72% untuk D 19 mm) dan maks. 8 kaki (0,43% untuk D 19 mm)), lebar retakan (maks. 0,04 inci (0,56% untuk D 19 mm)), dan tegangan baja 75% yang direncanakan (0,56% untuk D 19 mm). Untuk hasil perhitungan kebutuhan baja tulangan memanjang dapat dilihat pada Tabel 5.1. Sedangkan untuk tipikal desain baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 5.4 hingga Gambar 5.6.



Gambar 5.3 Rencana tebal perkerasan beton menerus dengan tulangan mengacu AASHTO 1993 (Sumber: Hasil Analisis, 2018)

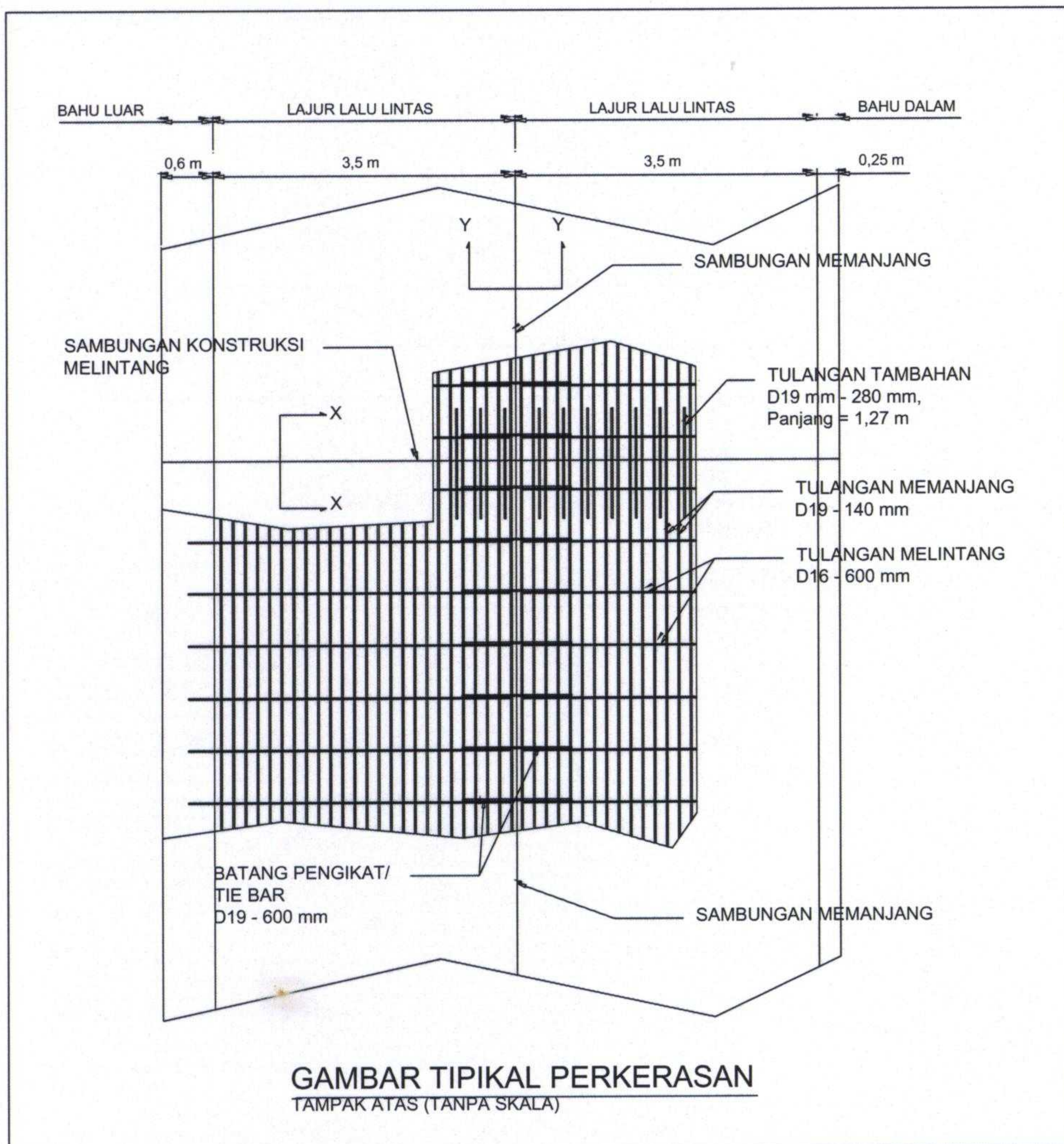
Tabel 5.1 Input perancangan, kriteria perancangan, dan presentase kebutuhan tulangan

Input perancangan				
Variabe Masukkan	Nilai	Variabe Masukkan	Nilai	
Diameter tulangan, ϕ (in)	0,75	Perbandingan koefisien termal, α_s/α_c (in./in.)	0,0000038	
Susut beton, Z (in./in.)	0,0004	Rancangan penurunan temperatur, DT_D (°F)	80,6	
Kuat tarik beton, f_t (psi)	550	Tegangan akibat beban roda, σ_w (psi)	150	
Kriteria perancangan dan persentase kebutuhan tulangan				
	Jarak retak, \bar{x} (feet)	Lebar retak yg Diijinkan, CW_{max} (inci)	Tegangan baja yg diijinkan, $(\sigma_s)_{max}$ (ksi)	Kisaran rancangan baja**
Batasan nilai kriteria	Mak. 8,0 Min. 3,5	0,039	60,92	
Persen baja minimal yang diijinkan	$\leq 0,435\%$	$\leq 0,557\%$	$\leq 0,557\%$	$\leq 0,56\%$ (P_{min})
Persen baja maksimal yang diijinkan	0,717%	NA	NA	0,717% (P_{mak})

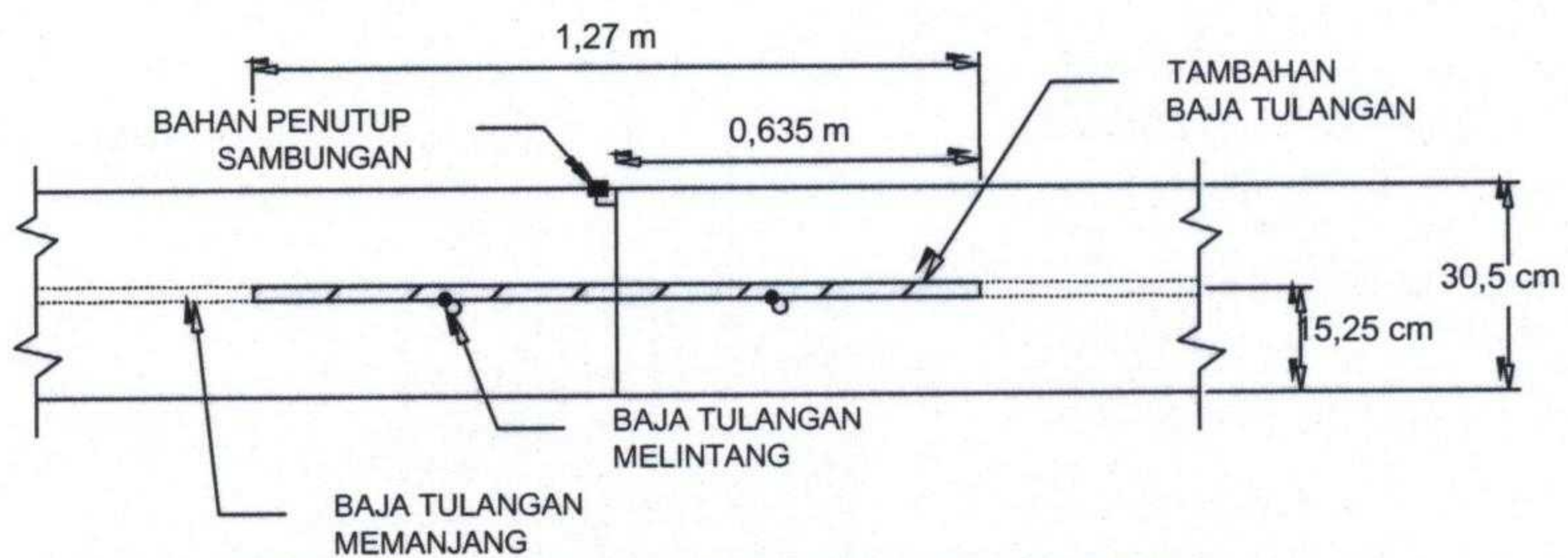
(Sumber: Hasil analisis, 2018)

Dari hasil perancangan terhadap batasan-batasan yang direncanakan, maka kebutuhan luasan baja tulangan untuk arah memanjang adalah sebanyak 0,65% dengan tulangan yang direncanakan adalah baja tulangan sirip dengan diameter 19 mm dengan jarak 140 mm. Kebutuhan baja tulangan untuk arah melintang didasarkan kepada jarak antar tulangan, yaitu selebar 60 cm dengan diameter tulangan yang dibutuhkan adalah 16 mm.

Untuk sambungan ujung yang digunakan adalah alternatif pertemuan CRCP dengan perkerasan aspal. Hal ini digunakan dikarenakan kondisi jalan eksisting merupakan perkerasan jalan aspal. Selain itu sambungan ujung yang dipilih adalah menggunakan wide flens modifikasi tanpa sleeper slab, hal ini dipilih dikarenakan kondisi jalan yang akan dilaksanakan berada pada jalan yang telah ada dan untuk mempercepat pekerjaan. Detil sambungan ujung ini dapat dilihat pada Gambar 5.7.

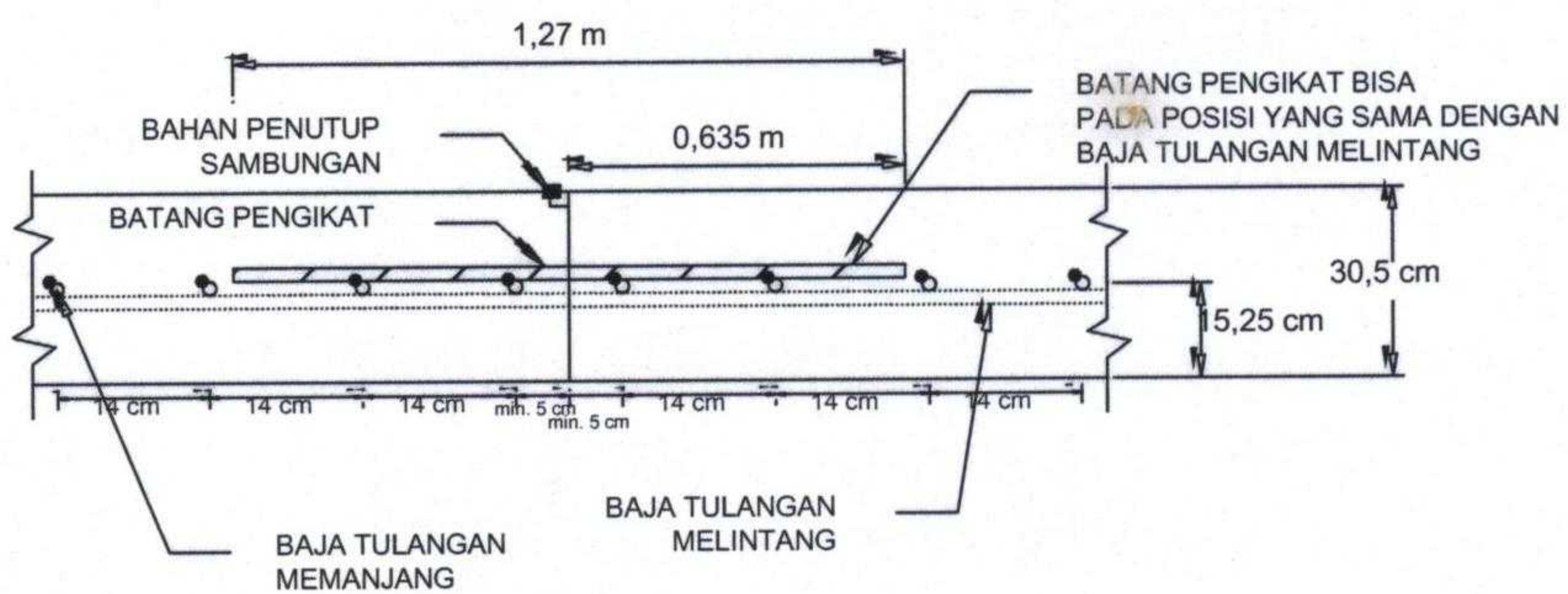


Gambar 5.4 Desain rencana kebutuhan baja tulangan berdasarkan perhitungan AASHTO 1993 (*Sumber: Hasil analisis, 2018*)



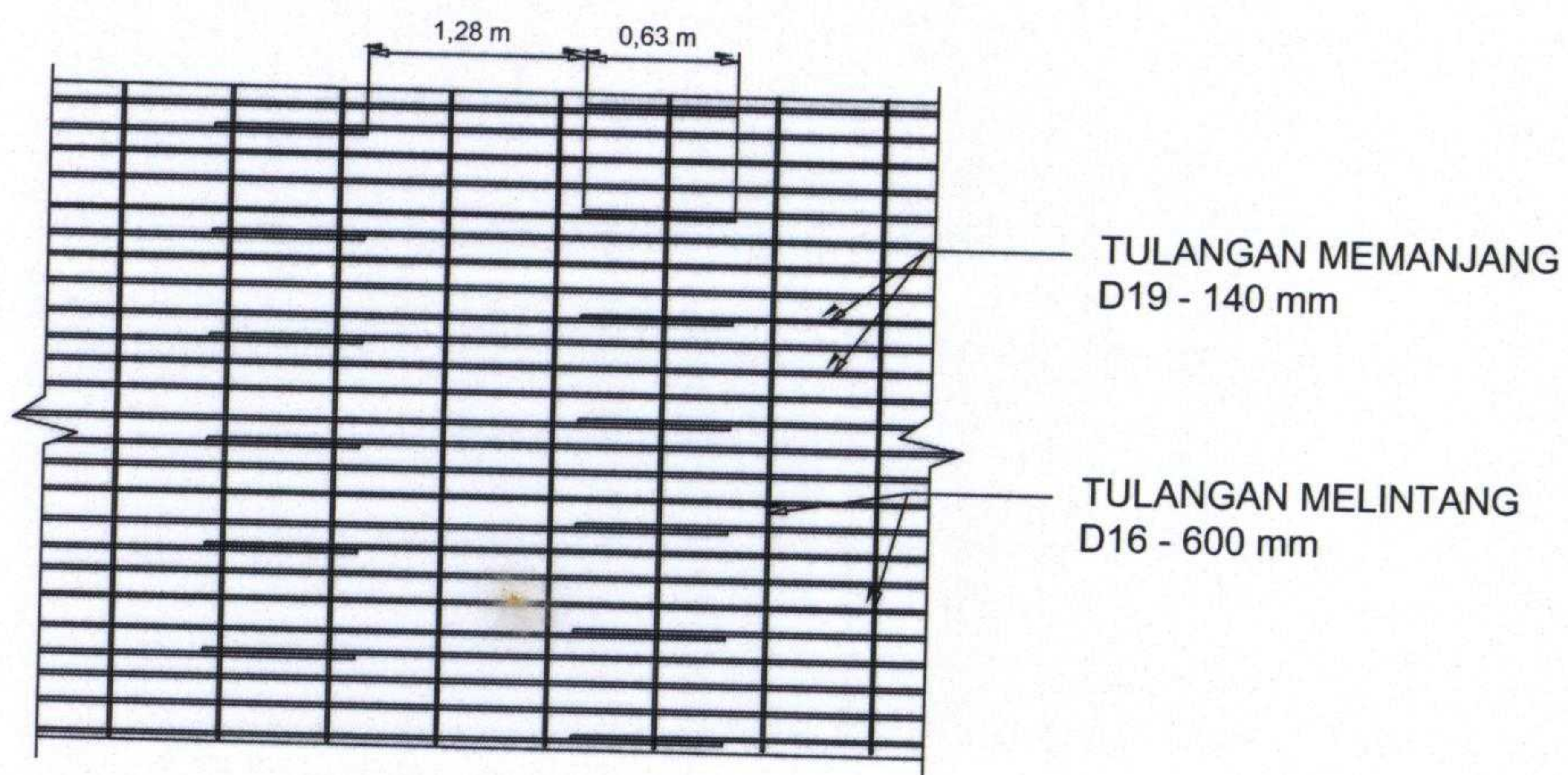
TIDAK BOLEH ADA SAMBUNGAN TULANGAN DALAM 3,05 M DARI SAMBUNGAN

SAMBUNGAN KONSTRUKSI MELINTANG POT. X - X



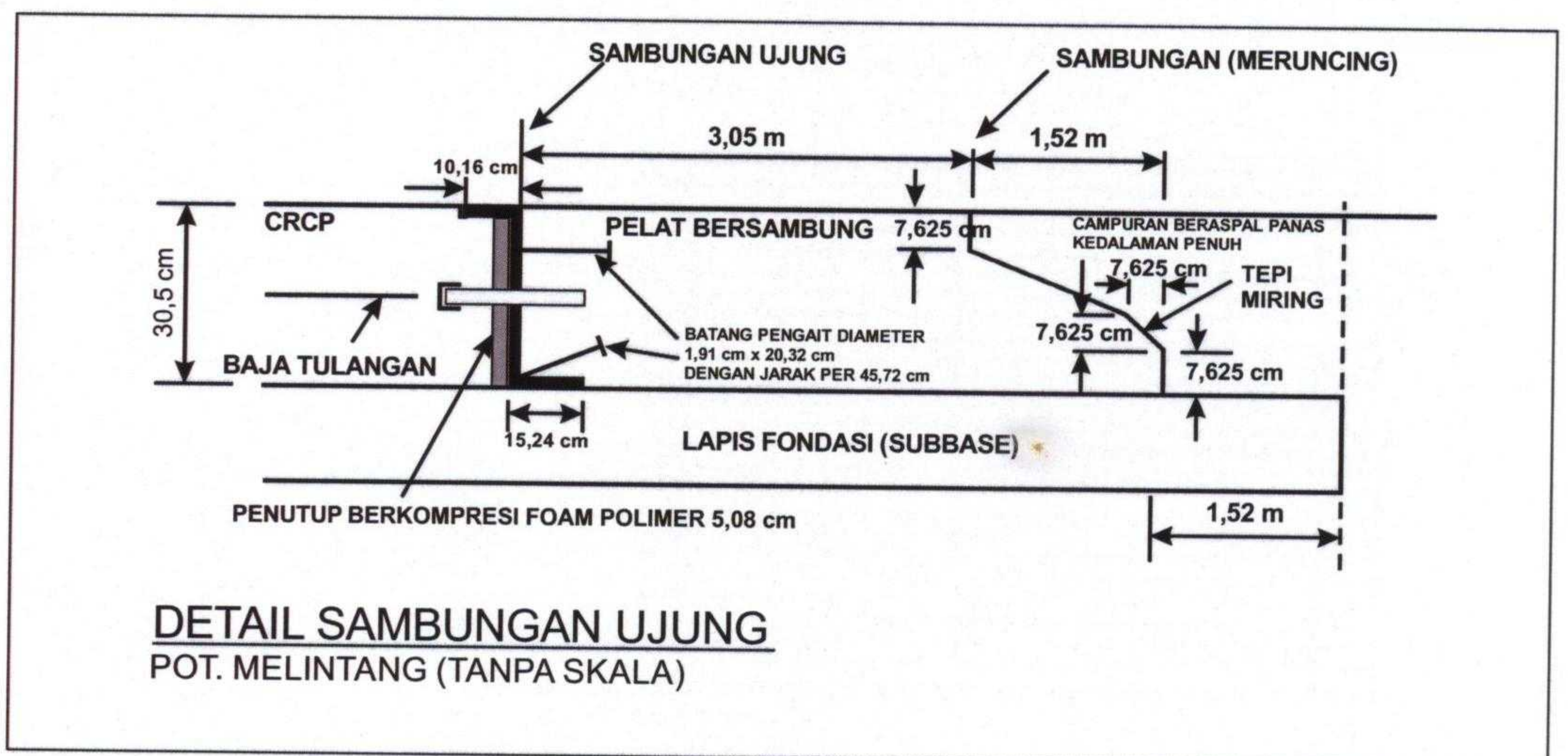
SAMBUNGAN KONSTRUKSI MEMANJANG POT. Y - Y

Gambar 5.5 Detil penempatan baja tulangan memanjang dan melintang berdasarkan perhitungan AASHTO 1993 (*Sumber: Hasil olahan, 2018*)



GAMBAR SAMBUNGAN ANTAR TULANGAN MEMANJANG
TAMPAK ATAS (TANPA SKALA)

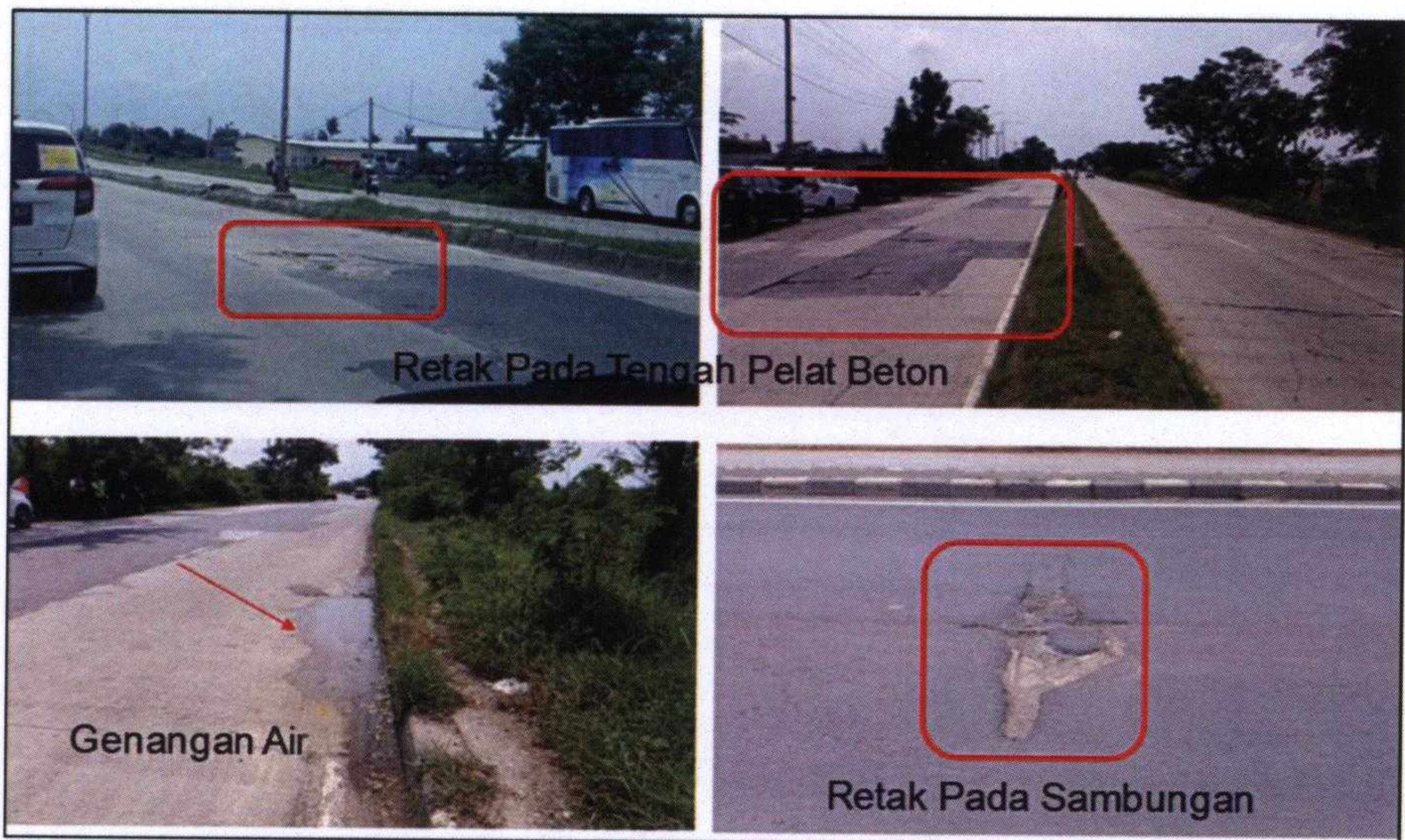
Gambar 5.6 Detil sambungan antar baja tulangan memanjang berdasarkan perhitungan AASHTO 1993 (Sumber: Hasil olahan, 2018)



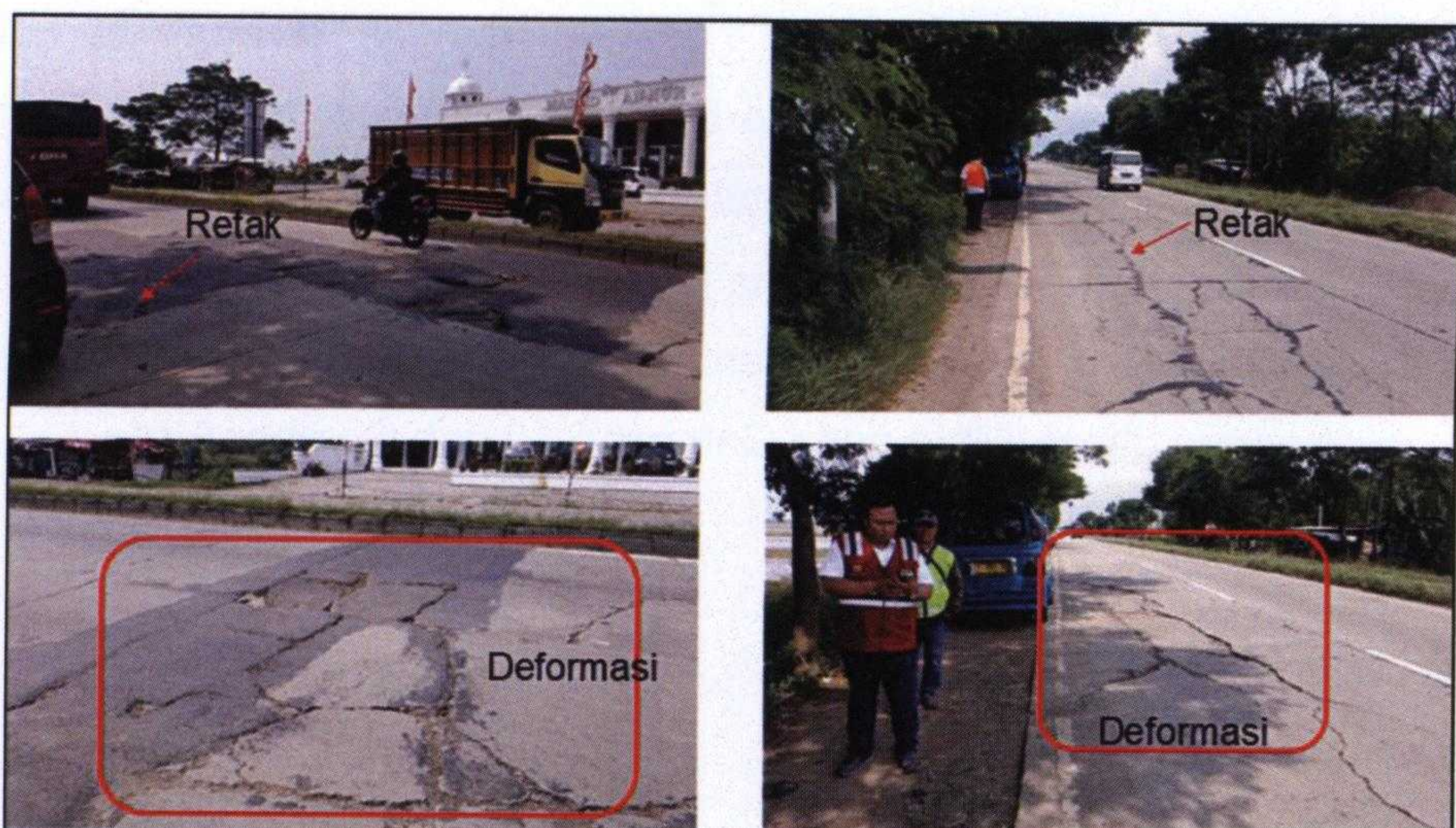
Gambar 5.7 Detil sambungan ujung CRCP dengan perkerasan aspal eksisting (*Sumber: Hasil olahan, 2018*)

5.2 Rencana Perancangan Penerapan Berdasarkan Austroad

Rencana pelaksanaan yang akan dilaksanakan menggunakan acuan dari Austroad adalah mengganti perkerasan beton lama dengan perkerasan beton menerus dengan tulangan yang berlokasi di daerah Lingkar Karawang Jawa Barat. Kondisi perkerasan saat ini sudah cukup banyak mengalami kerusakan dan menerus tidak hanya pada satu slab beton. Kondisi perkerasan beton saat ini dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.8 Tipe kerusakan perkerasan beton saat ini (Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)



Gambar 5.9 Retak pada perkerasan beton akibat deformasi (Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)

Perancangan tebal perkerasan beton CRCP untuk Ruas Jalan Lingkar Karawang Jawa Barat menggunakan metode yang terdapat pada Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga Tahun 2017. Sedangkan untuk perancangan baja tulangan yang akan digunakan menggunakan pedoman perencanaan perkerasan jalan beton semen Pd T-14-2003. Sedangkan spesifikasi yang digunakan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Menurut MDP Tahun 2017 maka didapatkan CESAL untuk rencana penerapan dengan prediksi hingga 40 tahun ke depan yang dapat dilihat pada tabel berikut. Tebal perkerasan beton yang dirancang berdasarkan data yang ada didapatkan tebal perkerasan 30 cm.

Tabel 5.2 Ringkasan nilai cumulative equivalent single axle load (CESAL) lingkar karawang

Tahun	MDP 2017	
	CESA Pangkat 4	CESA Pangkat 5
10	29,709	37,286
20	59,355	74,492
30	81,475	102,253
40	103,595	130,014

(Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)

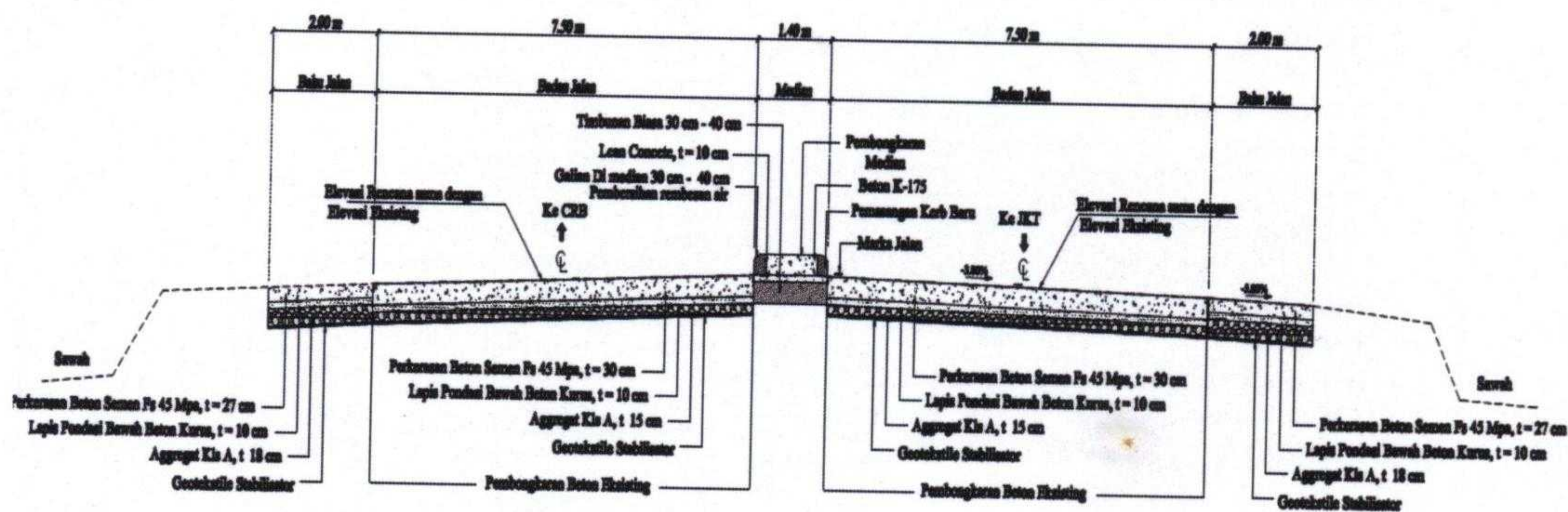
Untuk perancangan baja tulangan baik tulangan memanjang maupun melintang dapat dilihat pada Tabel 5.3. Sedangkan minimum kebutuhan baja tulangan untuk ruas jalan ini direncanakan minimal 0,6% dari luas penampang beton. Sehingga berdasarkan hasil perhitungan didapatkan untuk baja tulangan memanjang digunakan BJTS D19 dengan jarak pemasangan tiap 100 mm. sedangkan kebutuhan baja tulangan melintang adalah menggunakan BJTS D13 dengan jarak pemasangan tiap 250 mm.

Desain perancangan tebal perkerasan dan baja tulangan untuk dilaksanakan di lapangan dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11.

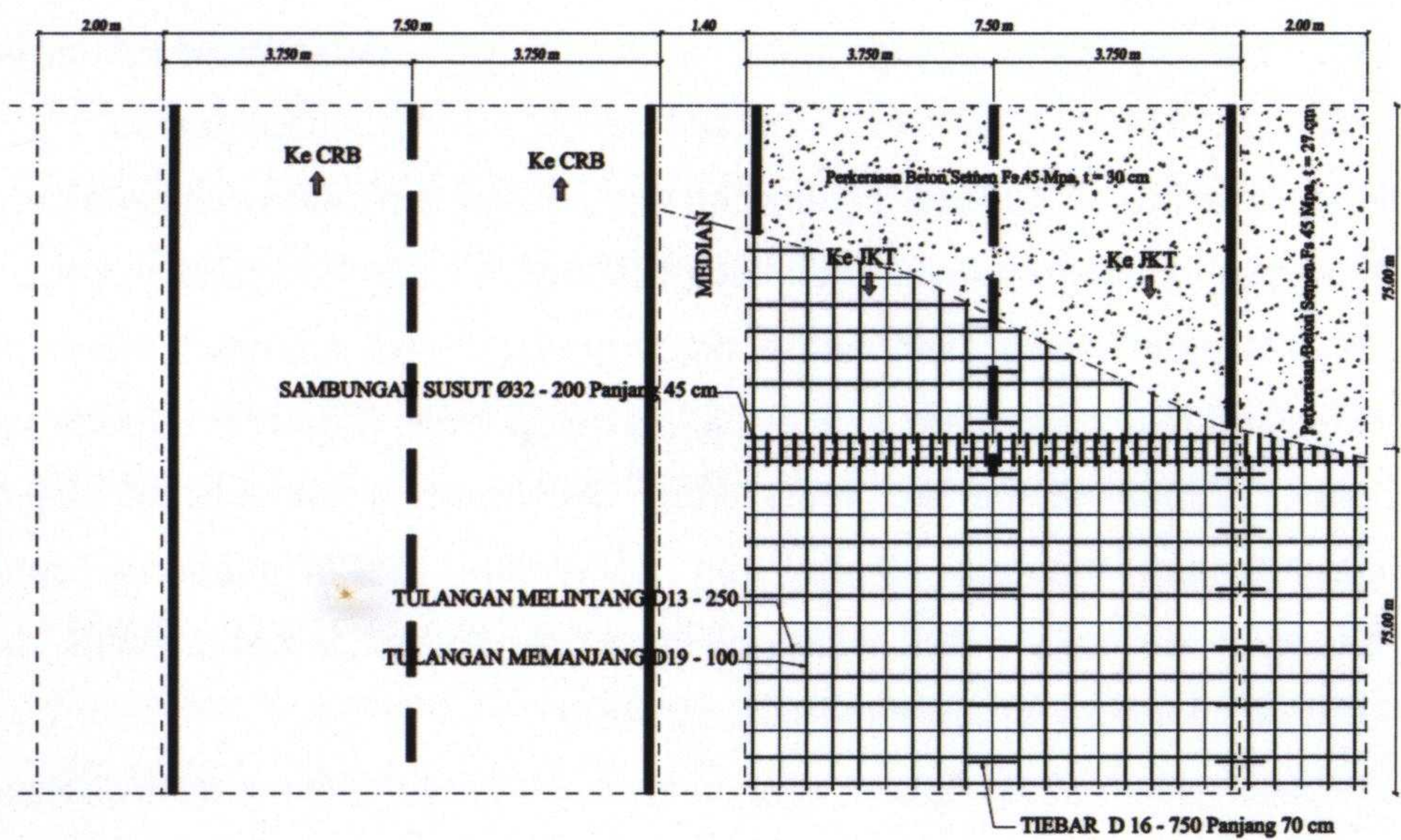
Tabel 5.3 Analisis Perancangan Baja Tulangan berdasarkan Pd T-14-2003

Analisis Tulangan Melintang			Analisis Tulangan Memanjang		
Tebal Pelat	30	Cm	Tebal Pelat	30	Cm
Lebar Pelat	7.5 x 15	M	Lebar Pelat	3.5	M
Panjang Pelat melintang		15 M	Kuat tekan beton	350	Kg/cm ²
Koefisien Gesek	1.0		Koefisien Gesek	1.0	
Digunakan jenis tulangan	ulir		Digunakan jenis tulangan	ulir	
kuat tarik ijin baja	390		kuat tarik ijin baja	3900	
Spesifikasi tulangan :			Spesifikasi tulangan :		
Tulangan Polos	BJTU24		Tulangan Polos	BJTU24	
f'y	2400		f'y	2400	
Tulangan Ulir	BJTU39		Tulangan Ulir	BJTU39	
f'y	3900		f'y	3900	
Berat isi beton	2400	Kg/m ³	Berat isi beton	2400	Kg/m ³
Gravitasi (g)	9.81	m/det ²	Gravitasi (g)	9.81	m/det ²
Tulangan Melintang :			Berat isi beton		
As melintang	135.8308	mm ² / m'	Gravitasi (g)	9.81	m/det ²
As Min	300	mm ² / m'	Kuat lentur beton		
As terpilih	300	mm ² / m'	fct	43.92	Kg/cm ²
Digunakan As Min			Mod.elastis baja	21.96	Kg/cm ²
Digunakan tulangan melintang :			Mod.elastis beton	2,100,000	Kg/cm ²
diameter	13	mm	Es / Ec	277,818	Kg/cm ²
jarak tulangan	250	mm	Persentase luas tulangan memanjang		
jumlah Tulangan	4	buah	Ps =	0.641	Persen
Luas (Ae)	530.93	mm ² / m'	As perlu	19.2302	Cm ²
OK (Ae > As)			As Min	18.0000	Cm ²
			As terpilih	19.2302	Cm ²
			Dicoba :		
			Diamter Tulangan	19	mm
			Jarak Tulangan	100	mm
			Jumlah tulangan	10	Buah
			Luas (Ae)	28.35	cm ² /m'
			OK (Ae > As)		
			Chek jarak teoritis antar retakan :		
			u =	2.105263	
			p =	0.0095	
			fb =	19.398	Kg/cm ²
			Σs =	4.00E-04	
			Lcr =	247.0885	cm
			Chek kekuatan beton		
			Lcr	247.0885	cm
			Jarak Tul	100	mm
			Dia Tul	19	mm
			OK (berada dalam Interval 150 < Lcr < 250)		
			OK (berada dalam Interval 100 < S.Tul < 225)		
			OK (berada dalam Interval 12 < D.Tul < 20)		
			Digunakan Tulangan Diameter 19 Jarak 100 mm		
			Sambungan susut dipasang setiap jarak 75 meter		
			Digunakan Ruji ukuran :		
			Diameter	32	mm
			Panjang Ruji	450	mm
			Jarak Ruji	300	mm

(Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)



Gambar 5.10 Potongan melintang desain perkerasan beton menerus didasarkan MDP 2017 (Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)



Gambar 5.11 Rencana denah kebutuhan baja tulangan didasarkan Pd T-14-2003 (Sumber: P2JN Jawa Barat, 2018)

BAB 6

PENUTUP

Pedoman perancangan maupun pelaksanaan yang khusus membahas tentang perkerasan beton menerus dengan tulangan pada saat ini belum tersedia di Indonesia. Hal ini berbanding terbalik dengan kondisi di luar negeri di mana telah banyak pedoman-pedoman maupun manual yang membahas tentang perkerasan beton menerus dengan tulangan. Pedoman-pedoman tersebut baik berupa spesifikasi, perancangan, hingga pelaksanaan. Sehingga di Indonesia juga perlu dikembangkan pedoman-pedoman yang membahas tentang perkerasan beton menerus dengan tulangan ini.

Pada saat ini di Indonesia penerapan dari perkerasan beton menerus dengan tulangan ini belum banyak digunakan. Bila dilihat dari keuntungan yang ada dibandingkan perkerasan beton bersambung tanpa tulangan maka perlu adanya suatu pemanfaatan perkerasan beton jenis ini terutama pada jalan-jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan berat. Untuk melihat kesiapan pelaksanaan maupun kinerja dari perkerasan beton menerus dengan tulangan ini maka perlu dilakukan suatu penerapan terbatas untuk dapat diambil pelajaran dari pelaksanaan tersebut.

Terdapat dua metoda dalam perancangan perkerasan beton menerus dengan tulangan yang digunakan di Indonesia dapat menjadi perbandingan untuk melihat keunggulan dan kekurangan dari masing-masing metoda. Sehingga dapat menjadi bahan masukan untuk penyempurnaan pedoman yang sudah ada maupun yang akan disusun.

Dari segi pemeliharaan dengan masih barunya teknologi perkerasan beton ini maka juga perlu dilakukan kajian dan percobaan untuk melihat efektif tidaknya metoda pemeliharaan yang sudah ada. Dikarenakan perkerasan beton menerus dengan tulangan ini terdapat perbedaan dibandingkan perkerasan beton konvensional yaitu terdapatnya tulangan memanjang dan melintang sehingga terdapat sedikit perbedaan pada metoda pemeliharaan terutama pada jenis penambalan kedalaman penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N, Capital Street, N.W, Suite 249.
- Affandi, F., dkk., 2004. *Perencanaan Jalan Beton Semen*. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Affandi, F., dkk., 2013. *Kajian Perencanaan Perkerasan Beton (Spesifikasi Pelapisan Ulang Perkerasan Beton dan Perkerasan Beton dengan Tulangan*. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Bina Marga, 2014. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi 3)*. Direktorat Bina Teknik, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- FHWA, 2016. *Continuously Reinforced Concrete Pavement Manual, Guidelines for Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation*. FHWA HIF-16-026, Washington, D.C.
- Texas Department of Transportation, 2004. *Standard Specification for Construction and Maintenance of Highways, Streets, and Bridges*. Texas.
- Illinois Department of Transportation, 2012. *Standard Specifications for Road and Bridge Construction*. Illinois.
- Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2016. *Pedoman Perancangan perkerasan kaku dengan tulangan (Rancangan 2)*. Bandung.
- Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2017. *Pedoman Spesifikasi perkerasan kaku menerus dengan tulangan (Rancangan 1)*. Bandung.

Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi, 2013. *Pavement Engineering - Principles and Practice, Second Edition*. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-7036-5 (eBook - PDF). CRC Press, Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton.