



METODE PENINGKATAN PERKERASAN BETON DENGAN LAPI SAN ASPAL

(Campuran Beraspal Hangat Dengan Zeolit Alam dan Leadcap)



Furqon Affandi



INFORMATIKA
Bandung

METODE PENINGKATAN PERKERASAN BETON DENGAN LAPISAN ASPAL

(Campuran Beraspal Hangat Dengan Zeolit Alam dan Leadcap)

Desember 2012

Cetakan Ke-1, tahun 2012, (x + 88 Halaman)

@Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-1514-21-4
Kode Kegiatan : 04-PPK3-001107-Q12
Kode Publikasi : IRE-TR-89/2012
Kata Kunci : Pondasi, tulangan, pumping, stabilisasi, granular, bersambung dengan tulangan, menerus dengan tulangan.

Penulis :

Furqon Affandi, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Editor :

1. Prof. Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc
2. Ir. Nyoman Suaryana, MSc.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Anggota IKAPI Jabar Nomor : 033/JBA/99

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

Kata Pengantar

Perkembangan pembangunan perkerasan kaku di Indonesia akhir-akhir ini meningkat secara signifikan. Untuk mendapat kualitas perkerasan kaku yang baik haruslah didukung dengan tersedianya teknologi dan pedoman mengenai perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan dan spesifikasi yang tepat dan memadai.

Jalan beton lama yang sudah berumur puluhan tahun perlu ditingkatkan sesuai dengan beban lalu lintas yang akan melaluinya. Hal ini bisa ditangani dengan pelapisan ulang jalan beton dengan lapisan aspal. Di samping itu lapisan aspal ini bisa dipasang di atas lapisan perkerasan jalan beton yang baru atau lapisan pondasi yang kaku dengan berbasis dasar semen.

Teknologi peningkatan pelapisan ulang perkerasan beton dengan lapisan aspal sudah mulai digunakan di Indonesia, walaupun jumlahnya masih sedikit, tetapi perkerasan komposit dengan lapisan base yang cukup kaku masih sangat minim. Mengingat perkembangan jalan beton yang sudah puluhan tahun dan pembangunan jalan beton baru maka pedoman perencanaan pelapisan aspal di atas beton ini sangat dirasakan kebutuhannya.

Bandung, Desember 2012



DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
1 PENDAHULUAN	1
2 PERKEMBANGAN LAPISAN KOMPOSIT ASPAL DAN BASE BERBASIS SEMEN	3
2.1 Perencanaan dari Illinois Department of Transport (IDOT). ...	8
2.2 Pedoman perencanaan perkerasan dari United Kingdom (U. K).....	9
2.3 Metoda Danish Road Institute.....	10
2.4 Kinerja Perkerasan Komposit.....	13
2.4.1 Prediksi Permaluan Deformasi Alur.....	14
2.4.2 Prediksi retak refleksi.....	15
3 PELAPISAN ULANG ASPAL DI ATAS PERKERASAN BETON	16
3.1 Perbaikan Sebelum Pelapisan Ulang.....	17
3.2 Pengendalian Retak Refleksi.....	18
3.3 Perencanaan Tebal.....	20
3.3.1 Identifikasi Perencanaan Perkerasan Lama	22
3.3.2 Analisa Beban Lalu Lintas.....	22
3.3.3 Survey Kondisi	22
3.3.4 Pengujian Lendutan (Sangat Disarankan)	23
3.3.5 Pengujian Bor Inti Dan Bahan (Sangat disarankan) ..	29
3.3.6 Penentuan Tebal Pelat Untuk Lalu Lintas Kedepan Yang Harus Dilayani (Df).....	29
3.4 Tipikal Nilai Parameter Untuk Perencanaan Perkerasan Kaku	33
3.4.1 Pelat	33
3.4.2 Daya dukung dan drainase.....	34

3.4.3	Reliability.....	34
3.4.4	Penentuan Tebal Efektif Pelat (Deff)	34
3.4.5	Deff dari umur sisa untuk perkerasan beton	37
3.4.6	Penentuan Tebal Pelapisan Ulang.....	38
4	PELAPISAN ULANG ASPAL BETON DI ATAS PERKERASAN	
	BETON YANG TELAH DIHANCURKAN	40
4.1	Pengertian umum	40
4.2	Kelayakan Dari Pelapisan Ulang Dengan Pemecahan Lapisan Beton	41
4.3	Perbaikan sebelum pelapisan ulang	42
4.4	Pengendalian retak refleksi	43
4.5	Perencanaan Tebal.....	43
5	PELAPISAN ASPAL BETON DI ATAS PERKERASAN BETON	
	JPCP, JRCP DAN CRCP YANG TELAH DIBERI LAPISAN	
	ASPAL SEBELUM NYA. (AC/ JPCP, AC/ JRCP DAN AC/ CRCP).....	52
5.1	Pengertian Umum.....	52
5.2	Kelayakan pelapisan ulang di atas perkerasan beton yang telah beraspal.....	53
5.3	Perbaikan sebelum pelapisan ulang	54
5.4	Pengendali retak refleksi.....	56
5.5	Perencanaan Tebal Lapisan Ulang Aspal Beton.....	57
6	HUBUNGAN MODULUS HASIL PENGUJIAN FWD DAN DARI	
	HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM BERDASARKAN	
	KUAT TEKAN	72
➤	Hasil Pengujian Lapangan Lokasi Karawang.....	73
7	PENUTUP	86

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Tebal minimum dan persyaratan bahan untuk perkerasan komposit.....	8
Tabel 2.2 Tebal rencana untuk base CBM dengan $N > 80.000.000$ ESAL	10
Tabel 2.3 Sifat dari CBM	10
Tabel 2.4 Perencanaan perkerasan semi rigid, menurut metoda Denmark	11
Tabel 2.5 Parameter desain lapisan komposit.....	12
Tabel 2.6 Tipikal bahan untuk lapisan komposit.....	12
Tabel 2.7 HMA and Rigid Base Fatigue.....	13
Tabel 3.1 Penentuan nilai J.....	26
Tabel 4.1 Penentuan Koefisien drainase	50
Tabel 4.2 Koefisien lapisan untuk pelat yang telah dipecah	50
Tabel 5.1 Jenis kerusakan dan perbaikan yang perlu dilakukan	54
Tabel 5.2 Koefisien drainase C_d , untuk perkerasan kaku	68
Tabel 6.1 Nilai FWD (Karawang Arah Cikampek)	73
Tabel 6.2 Nilai FWD (Karawang Arah Jakarta)	74
Tabel 6.3 Nilai FWD (Sumedang Arah Bandung).....	79
Tabel 6.4 Nilai FWD (Bandung arah Sumedang).....	79

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Penampang Melintang Perkerasan Komposit	4
Gambar 2.2 Lokasi regangan kritis pada perkerasan lentur (a) dan pada perkerasan komposit (b).....	4
Gambar 2.3 Perbandingan antara metoda perencanaan komposit...	13
Gambar 2.4 Alur pada HMA pada beberapa jenis lapisan Base untuk beban lalu lintas 50 juta KSAL	14
Gambar 2.5 Ilustrasi deformasi permanen pada HMA akibat kekakuan lapisan base	14
Gambar 2.6 Retak refleksi pada berbagai jenis base dan tebal HMA	15
Gambar 3.1 Faktor “A” konversi pengurangan ketebalan lapis perkerasan beton ke lapis aspal beton	21
Gambar 3.2 Penentuan “k” dinamis dari AREA dan lendutan	27
Gambar 3.3 Modulus Elastisitas beton berdasarkan nilai “k” dan nilai AREA	28
Gambar 3.4 Grafik untuk menentukan nilai “k” komposit	30
Gambar 3.5 Grafik penentuan tebal perkerasan beton.....	33
Gambar 3.6 Grafik FJC Faktor penyesuaian akibat sambungan dan retak	36
Gambar 3.7 Hubungan antara umur sisa dan factor kondisi (CF)	39
Gambar 4.1 Penentuan E_p / MR.....	47
Gambar 4.2 Grafik penentuan tebal perkerasan lentur	49
Gambar 6.1 Alat pengukur FWD	72
Gambar 6.2 Pengukuran lendutan pada sambungan melintang pelat beton	73
Gambar 6.3 Grafik Nilai AREA Karawang arah Cikampek	74
Gambar 6.4 Grafik Nilai AREA Karawang arah Jakarta	75

Gambar 6.5	Pengambilan benda uji dengan core drill	75
Gambar 6.6	Contoh benda uji hasil core drill.....	75
Gambar 6.7	Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Cikampek dari FWD	76
Gambar 6.8	Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Jakarta dari FWD	77
Gambar 6.9	Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Cikampek dari hasil.....	77
Gambar 6.10	Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Jakarta dari hasil.....	77
Gambar 6.11	Grafik perbandingan nilai modulus hasil FWD dengan hasil dari pengujian core drill	78
Gambar 6.12	Grafik Nilai AREA Sumedang arah Bandung.....	80
Gambar 6.13	Grafik Nilai AREA Sumedang arah Bandung.....	80
Gambar 6.14	Grafik Nilai modulus segmen Sumedang arah Bandung dari FWD	81
Gambar 6.15	Grafik Nilai modulus segmen Bandung arah Sumedang dari FWD	81
Gambar 6.16	Grafik Nilai modulus segmen Bandung arah Sumedang dari hasil.....	82
Gambar 6.17	Grafik Nilai modulus segmen Sumedang arah Bandung dari.....	82
Gambar 6.18	Grafik perbandingan nilai modulus hasil FWD dengan hasil dari pengujian core drill	83
Gambar 6.19	Grafik Nilai k (statis) segmen Sumedang arah Bandung.	83
Gambar 6.20	Grafik Nilai M R (psi) segmen Sumedang arah Bandung.	83
Gambar 6.21	Grafik Nilai k (statis) Segmen Bandung arah Sumedang.	84
Gambar 6.22	Grafik Nilai M R (psi) segmen Bandung arah Sumedang.	84

Gambar 6.23 Grafik Nilai Δ LT segmen Sumedang arah Bandung 85

Gambar 6.24 Grafik Nilai B segmen Sumedang arah Bandung..... 85

Gambar 6.25 Grafik Nilai Δ LT segmen Bandung arah Sumedang 85



1

PENDAHULUAN

Pembangunan jalan beton di Indonesia dibandingkan dengan jalan aspal relatif baru, di mana dimulai dari tahun 1985, sehingga panjang jalan yang diperkeras dengan beton baru sekitar 2% sedangkan yang diperkeras dengan aspal mencapai 98%. (Widayat. J 2009). Namun demikian pembangunan jalan beton di Indonesia ini berkembang dengan baik dari tahun ke tahun, baik untuk jalan Nasional, jalan Tol jalan Propinsi bahkan jalan Kabupaten. Hal ini ditunjang dengan ketersediaan bahan semen produksi nasional yang cukup memadai, di mana kapasitas pabrik terpasang sebesar 47 juta ton, sementara ini konsumsi domestic hanya sekitar 35 juta ton saja (Affandi,F. 2008) . Pada tahun 2009/ 2010 saja di Sulawesi Selatan sampai Sulawesi Tengah, telah dan sedang dilakukan pelaksanaan perkerasan beton di atas perkerasan jalan aspal lama dan jalan beton baru di pelebaran yang cukup panjang. Begitu juga di daerah lain, rencana pembangunan jalan beton terus berkembang.

Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen yang kita punya sudah cukup lama, yaitu disusun tahun 2003 dengan nomor Pd T -14-2003 yang mengadopsi dari perencanaan perkerasan beton Austroad 1992. Sementara itu metoda perencanaan perkerasan beton di luar negeri terus berkembang antara lain seperti metoda perkerasan beton Austroad 2010, AASHTO interim guide 1998 design method. Untuk menunjang keberhasilan pembangunan jalan beton ini, perlu tersedianya pedoman perencanaan jalan beton yang sesuai dengan kondisi Indonesia serta mudah dipahami dan dilaksanakan.

Dengan melihat umur jalan beton di Indonesia sampai saat ini sudah ada yang mencapai 27 tahun (sejak tahun 1985) tentunya perlu difikirkan peningkatan kekuatan jalan beton tersebut, apalagi bila dikaitkan dengan beban lalu lintas yang semakin meningkat dan penurunan kemampuan jalan beton itu sendiri.

Peningkatan jalan beton dengan memberikan pelapisan ulang dengan aspal di atas beton sudah dilakukan di Indonesia, walaupun jumlahnya masih belum banyak sekali dan umumnya terbatas untuk meningkatkan sifat fungsional jalan tersebut. Selain itu pada jalan beton baru pun ada yang langsung dilakukan pemberian aspal di atasnya, dan sering dikaitkan dengan kenyamanan dari jalan beton tersebut serta belum ada pedoman untuk jalan yang bersifat komposit ini. Institusi jalan di luar negeri telah mengembangkan pelapisan ulang dengan cara melakukan pemberian lapisan aspal di atas perkerasan beton yang sudah ada, maupun pada perencanaan dan pembangunan jalan beton yang baru.

Perkerasan beton yang di atasnya diberi lapisan aspal beton, di beberapa Negara telah menunjukkan kinerja yang baik dan berpotensi sebagai perkerasan alternatif yang mempunyai sifat penggunaan dana yang efektif (Nunn, 2004).

Perkerasan seperti ini di beberapa negara dikenal sebagai perkerasan semi – rigid dan telah digunakan pada jalan – jalan yang volume lalu lintasnya berat (lebih dari 50 juta ekivalent standard axle load) (Gerardo et.al, 2008).

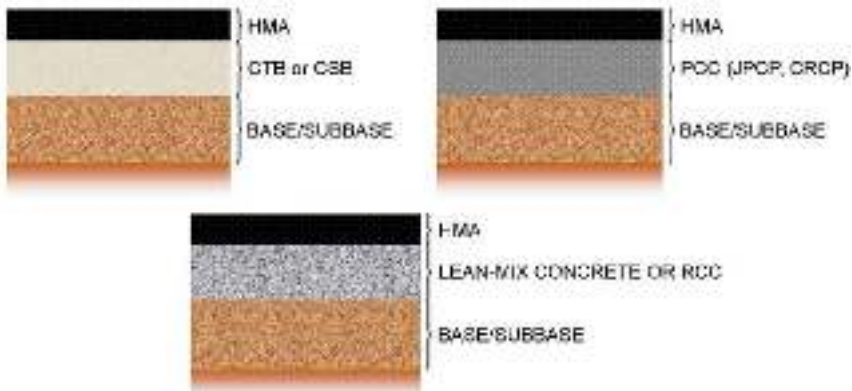
2

PERKEMBANGAN LAPI SAN KOMPOSIT ASPAL DAN BASE BERBASIS SEMEN

Lapisan aspal yang di letakkan di atas perkerasan atau lapisan base berbasis semen yang cukup kaku seperti CTB dan bekerja sebagai satu kesatuan dikategorikan sebagai perkerasan komposit. Perkerasan komposit bila dibandingkan dengan perkerasan lentur tradisional atau perkerasan kaku, berpotensi mempunyai kinerja fungsional dan struktural yang lebih baik dan juga sebagai alternatif dipandang dari sisi ekonomisnya. Beberapa keuntungan dari perkerasan komposit seperti di atas adalah (Donald 2003; Jofre and Fernandez, 2004; Nunn 2004):

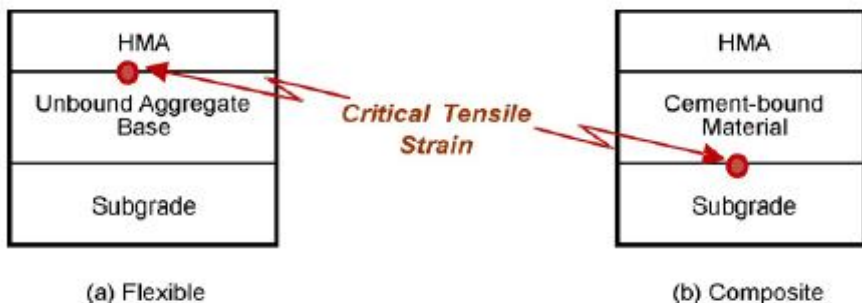
- Mempunyai lapisan pondasi yang kuat sebagai penyokong lapisan aspal di atasnya
- Mempunyai tingkat kenyamanan yang baik bagi pengemudi
- Mempunyai sifat kekesatan yang baik
- Sifat struktur perkerasan bisa bertahan lama dengan hanya mengganti lapisan atasnya saja secara periodik
- Mencegah masuknya air ke lapisan pondasi karena tertutup oleh lapisan aspal
- Bisa mereduksi temperatur pada lapisan beton disebabkan adanya isolasi dari lapisan aspal di atasnya

Tipikal penampang melintang dari perkerasan komposit ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2-1 Penampang Melintang Perkerasan Komposit

Donald (2003) menyampaikan bahwa perkerasan tradisional yang memikul beban berat (*traditional heavy duty pavement*) adalah perkerasan aspal yang tebal diletakan di atas lapisan pondasi berbutir dan juga lapisan pondasi bawah berbutir. Perkerasan semacam ini mendasarkan kekuatannya pada lapisan aspal yang mempunyai kekakuan yang lebih besar. Karenanya tegangan tarik dibagian serat bawah dari lapisan aspal harus dianalisa ketika merencanakan perkerasan seperti tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Hal ini berarti permulaan retak fatiq dimulai dari bagian bawah lapisan aspal naik ke atas. Pada perkerasan komposit sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2 (b) regangan kritis akibat tegangan tarik terjadi pada bagian bawah lapisan kaku (beton).



Gambar 2-2 Lokasi regangan kritis pada perkerasan lentur (a) dan pada perkerasan komposit (b).

Perkerasan komposit termasuk perkerasan beton dengan lapisan aspal di atasnya sudah banyak digunakan di berbagai Negara di dunia ini dalam beberapa puluh tahun ke belakang. Negara negara di Eropa seperti Jerman, Perancis dan Spanyol telah menggunakan perkerasan seperti ini dengan intensif, di mana sekitar 30% sampai 40% dari panjang jaringan jalannya telah menggunakan perkerasan komposit ini. (Thogersen et al, 2004).

Negara negara di Amerika, mempunyai perkerasan komposit ini biasanya merupakan hasil dari rehabilitasi perkerasan beton, terdiri dari lapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton yang telah mengalami kerusakan. Tipe rehabilitasi ini digunakan untuk mengembalikan kinerja fungsional dari perkerasan lama dan atau untuk meningkatkan kekuatan struktur dalam rangka memikul beban lalu lintas yang lebih besar. Kinerja perkerasan komposit ini bervariasi yang mungkin disebabkan oleh beberapa faktor seperti perencanaan perkerasan betonnya, pemilihan jenis campuran beraspal panas, sistem pelaksanaan dan juga pemeliharannya. Hein et al (2002) menyimpulkan hasil studinya tentang perkerasan komposit, sebagai berikut:

- Penggunaan aspal beton yang bergradasi terbuka sebagai inter layer tidak bisa mencegah retak refleksi
- Dalam 3 sampai 5 tahun di awal umur perkerasan kerusakan akibat retak refleksi pada lapisan campuran beraspal dari lapisan di bawahnya akan berhenti.
- Penilaian kondisi perkerasan yang hanya didasarkan pada permukaan lapisan aspal, tidak menggambarkan secara tepat kondisi dari keseluruhan konstruksi perkerasan tersebut (termasuk lapisan beton di bawahnya) seperti faulting dan spalling yang tidak terlihat.

Inggris telah mengembangkan metode perencanaan komposit ini sejak 20 tahun yang lalu, yaitu untuk beban pada < 20 juta KSAL. Selama umur rencana 20 tahun yang terdiri dari lean concrete 250 mm dan lapisan aspal 15cm. Metode perencanaan yang baik ialah untuk beban > 250 juta KSAL yaitu aspal setebal 25 cm di atas perkerasan komposit.

Studi yang dilakukan Meril et al (2006), menyampaikan kinerja perkerasan perkerasan komposit di Eropa, kinerja perkerasan di Inggris, Belanda dan Hongaria. Kinerjanya cukup baik dilihat dari ketahanan alur, retak

dan lendutan. Perkerasan semi rigid dengan tebal total 25 cm bisa berumur panjang walaupun lalu lintasnya tergolong berat.

Spanyol juga telah menggunakan konstruksi perkerasan semi rigid di mana lapisan yang di bawah aspal bukan perkerasan beton yang bisa, namun menggunakan lapisan dengan menggunakan bahan pengikat semen.

Perkerasan jalan beton komposit di Amerika biasanya merupakan hasil dari rehabilitasi jalan beton (*Portland Cement Concrete Pavement PCCP*) dari lapis tambahan aspal. Kinerja perkerasan komposit tergantung pada beberapa tahap seperti : perencanaan lapis rigid dari base, pemilihan tipe campuran beraspal, pelaksanaan dan pemeliharaan.

Metoda Perencanaan Struktur perkerasan AASHTO 1993 bisa dipergunakan untuk merencanakan dua perkerasan komposit yang berbeda yaitu :

- Perkerasan lentur yang baru dengan cement treated (*soil cement*) base dan
- Rehabilitasi perkerasan beton menggunakan lapisan ulang aspal beton di atas perkerasan betonnya sendiri (perkerasan bersambung tanpa tulangan, dan perkerasan menerus dengan tulangan)

Pada kasus yang pertama, hal yang penting ialah menentukan nilai kekuatan relatif dari lapisan base (*a2*) yang akan dipergunakan pada persamaan SN dari perkerasan lentur :

SN = a1 D1 + m2 a2 D2 + m3 a3 D3(persamaan 0-1)

Dengan

SN = nilai struktur perkerasanpersamaan

a1; a2; a3; = nilai kekuatan relatif masing - masing lapisan

D1; D2; D3 = tebal masing masing lapisan

Richardson (1996) telah melakukan studi mengenai persamaan umum untuk menentukan modulus *Ec* yaitu bahan yang berbasis semen (stabilisasi tanah dengan semen; CTB; atau berbagai bahan yang berbasis semen) dan selanjutnya bisa menghitung nilai kekuatan relatifnya sebagai mana ditunjukkan pada persamaan (2-2) dan (2-3) di bawah ini :

$$E_c = -34,367 + 2006,8 (q_u)^{0,7784} \dots\dots\dots(\text{persamaan 0-2})$$

$$a_2 = -2,7170 + 0,49711 \times \log (E_c) \dots\dots\dots(\text{persamaan 0-3})$$

Dengan :

E_c = Chord modulus (MPa)

q_u = Kuat tekan bebas (MPa)

Pada pekerjaan rehabilitasi jalan beton lama dengan aspal, pertama tama ialah merencanakan perkerasan beton sesuai kebutuhan lalu lintas yang akan dilayani dan kondisi lainnya (D_f). Setelah D_f didapat, dilanjutkan dengan penentuan tebal efektif dari lapisan beton, dan diteruskan dengan menghitung tebal lapisan tambah aspal dengan persamaan sebagai berikut :

$$D_{OL} = A (D_f - Deff) \dots\dots\dots (\text{persamaan 0-4})$$

Dengan :

A = faktor konversi pelat beton ke lapisan aspal beton

D_f = Tebal pelat beton yang diperlukan untuk memikul beban lalu lintas ke depan

$Deff$ = Tebal effektif pelat dari perkerasan beton yang lama

Dalam persamaan tersebut ada dua anggapan yang bisa dibuat. Pertama untuk jalan beton yang baru dan akan dilapisi aspal, $Deff$ sama dengan D_f karena belum ada kerusakan yang terjadi sehingga tidak ada faktor penyesuaian yang diperlukan sebagai mana disajikan pada persamaan (2-5).

$$Deff = F_{jc} \times F_{dur} \times F_{fat} \times D \dots\dots\dots(\text{persamaan 0-5})$$

Anggapan lainnya ialah penentuan faktor A yang ada pada persamaan (2.4), di mana nilai A dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - Deff)^2 - 0,1534 (D_f - Deff) \dots\dots(\text{persamaan 0-6})$$

Bila D_f sama dengan $Deff$, maka nilai A akan sebesar 2,2233. Dalam perhitungan ini, nilai tebal yang didapat umumnya dibulatkan ke 0,5 inchi yang terdekat.

2.1 Perencanaan dari Illinois Department of Transport (IDOT).

Illionis Department of Transport (IDOT) telah mempunyai pedoman untuk perencanaan perkerasan jalan termasuk perkerasn komposit yang diterbitkan pada tahun 2002. IDOT mendefinisikan perkerasan komposit ialah perkerasaan yang terdiri dari lapisan aspal sebagai lapis permukaan yang diletakan di atas perkerasan beton dengan ketahanan terhadap lentur yang tinggi sebagai bagian utama yang mendistribusikan beban kendaraan dari suatu sistim perkerasan (IDOT, 2002).

Persamaan untuk menghitung tebal lapisan aspal overlay, ialah sebagai berikut :

$D0 = (SNc - 0,33 \times Db) / 0,40$ (persamaan 0-7)

Dengan :

- D0 : Tebal lapisan aspal untuk perkerasan komposit yang baru (in)
- SNc : Nilai Struktural perkerasan komposit
- Db : Tebal lapisan perkerasan beton yang baru (in)

Setelah perencanaan perkerasan komposit selesai dilakukan, hasilnya harus dibandingkan terhadap nilai minimum dan persyaratan bahan yang ditentukan sebagai mana dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2-1 Tebal minimum dan persyaratan bahan untuk perkerasan komposit

Nilai Sruktural (SNc)		Tebal minimum (in)	Bahan minimum
Dari	Sampai	Lapisan aus dan Pengikat	Lapisan aus dan Pengikat
< 2,50		2	SUPERPAVE untuk ESAL rendah
2,51 – 2, 99		3	SUPERPAVE untuk ESAL rendah
3,00 – 3,49		3	SUPERPAVE (rongga 4%)
Lebih besar dari 3,50		4	SUPERPAVE (rongga 4%)

2.2 Pedoman perencanaan perkerasan dari United Kingdom (U. K)

Perencanaan dan prosedur yang digunakan di Inggris didasarkan pada TRL Report 615 (Nunn, 2004). Perencanaan ini menggunakan nomogram untuk mendapatkan dua parameter, yaitu :

- Tebal dari lapisan base dengan bahan pengikat semen dan
- Tebal lapisan beraspal sebagai lapis permukaan di atas lapisan base dengan bahan pengikat semen tadi.

Pertama, modulus resilient lapisan base dibagi dalam beberapa kelas, yaitu :

Klas 1 ≥ 50 MPa (7252 psi)

Klas 2 ≥ 100 MPa (14503 psi)

Klas 3 ≥ 200 MPa (29007 psi)

Klas 4 ≥ 400 MPa (58015 psi)

Sedangkan tebal lapisan base dengan bahan pengikat semen, sebagai fungsi dari katagori bahan dengan pengikat semen (CBM) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3

Sifat dari lapisan base ditunjukkan pada Tabel 2.2 Setelah didapat ketebalan base, ketebalan lapisan aspal bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan (8) .

$$H_{\text{aspal}} = -16,05 \times \{\log(N)\}^2 + 101 \times \log(N) + 45,08 \dots \text{(persamaan 0-8)}$$

Dengan :

$$H_{\text{aspal}} = \text{tebal lapisan aspal (mm) (untuk } 50 \text{ juta KSAL} < N < 80 \text{ juta KSAL)}$$

$$N = \text{jumlah komulatif sumbu tunggal}$$

Tabel 2-2 Tebal rencana untuk base CBM dengan N > 80.000.000 ESAL

Base CBM	Kelas Base (modulus resilient)			
	Kelas 1 50 MPa	Kelas 2 100 MPa	Kelas 3 200 MPa	Kelas 4 400 MPa
CBM 3 G	275 mm	250 mm	225 mm	200 mm
CBM 4 G	220 mm	200 mm	180 mm	150 mm
CBM 5 G	200 mm	180 mm	160 mm	150 mm
CBM 3 R	220 mm	200 mm	180 mm	150 mm
CBM 4 R	200 mm	180 mm	160 mm	150 mm
CBM 5 R	165 mm	150 mm	150 mm	150 mm

Tabel 2-3. Sifat dari CBM

CBM	Minimum kuat tekan pada umur 7 hari (M Pa)
CBM 1	4,5
CBM 2	7,0
CBM 1 A	10,0
CBM 2 A	10,0
CBM 3 R/G	10,0
CBM 4 R/ G	15,0
CBM 5 R/G	20,0

2.3 Metoda Danish Road Institute

Danish Road Institute tahun 2004 telah mengeluarkan pedoman perencanaan mekanistik untuk perkerasan semi rigid (Thogersen et al. 2004). Metoda ini berdasarkan persamaan mekanistik yang telah dibandingkan dengan perkerasan semi rigid yang telah mempunyai umur lebih dari 20 tahun, dan hasilnya sangat sesuai. Model didasarkan pada tegangan tarik pada bagian bawah dari lapisan CTB. Kriteria perencanaan didasarkan pada pencegahan keruntuhan fatiq dari struktur perkerasan pada tingkat kepercayaan 75 %.

Model persamaan tersebut ialah :

regangan izin = $99 \mu\text{str} \times (N/10^6)^{-0,12}$ (persamaan 0-9)

Dengan :

- regangan izin = regangan maksimum pada serat bawah dari lapisan CTB
- μstr = micro – strain (10^{-6} strain)
- N = jumlah pengulangan beban sampai runtuh

Perencanaan berdasarkan tabel untuk semi rigid disajikan pada Tabel 2.4 di mana beban yang tercantum adalah beban dari sumbu dengan beban ganda yang sudah termasuk beban tambahan sebesar 20 % sesuai standard di Denmark.

Tabel 2-4 Perencanaan perkerasan semi rigid, menurut metoda Denmark (Thogersen et al, 2004)

Lapisan		Jumlah sumbu ekuivalen 10 – ton (juta)							
		0,2	0,5	1	2	55	10	20	50
Lapisan aspal dan binder	E = 2500 MPa	60		80					
	Tebal (mm)								
CTB E awal =	Regangan ijin (μstr)	65	57	51					
12000 MPa	Tebal yang diperlukan	215	235	245					
CTB E awal = 16000 MPa	Regangan ijin (μstr)			75	69	62	57	52	47
	Tebal yang diperlukan			150	165	180	190	205	225
Gravel Base	E= 300 MPa	Tebal 150 mm							
Subbase	E= 100 MPa	Tebal min 200 mm							
Subgrade	E= 40 MPa								

Perbandingan perencanaan perkerasan komposit dari berbagai institusi Dalam menbandingkan hasil perencanaan ini, maka besaran bagi parameter inputnya diambil sama baik untuk beban PP maupun sifat material seperti yang di tunjukan pada Tabel 2.5 di bawah ini

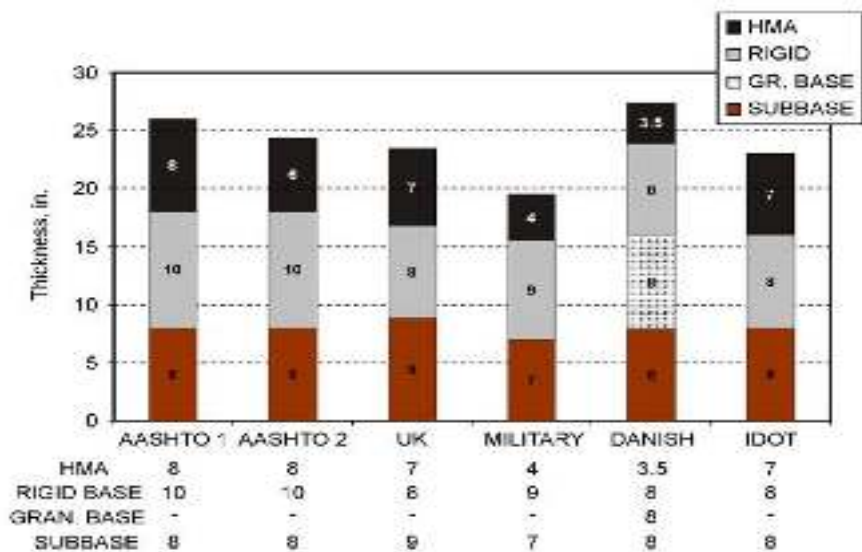
Tabel 2-5 Parameter desain lapisan komposit

Parameter	Value
Design life	40 years
Traffic	50,000,000 ESALs ^a 58,230 ADT, ^b 12% trucks
Reliability	95% (AASHTO design) 75% (Danish design)
PSI _o ^c	4.5
PSI _f	3.0
^a ESAL = number of equivalent single axle loads, in accordance with the 1993 AASHTO Pavement Design Guide ^b ADT = annual daily traffic ^c PSI = present serviceability index	

Tabel 2-6 Tipikal bahan untuk lapisan komposit

Layer No.	Material	Elastic Modulus MPa (psi)	Poisson's Ratio	Modulus of Rupture MPa (psi)
1	HMA	3,448 (500,000) ^f	0.35	N/A
2	PCC or	24,138 (4,000,000)	0.15	4.48 (650)
	RCC or	13,793 (3,500,000)	0.15	4.14 (600)
	Lean mix concrete or	6,896 (2,000,000)	0.15	3.10 (450)
	CTB or	3,448 (1,000,000)	0.20	1.38 (200)
	Soil Cement	3,448 (500,000)	0.20	0.69 (100)
3	Base and/or	207 (30,000)	0.35	N/A
	Subbase	138 (20,000)	0.35	N/A
4	Subgrade (compacted, CBR=5%)	51.7 (7,500) ^g	0.40	N/A

Hasil dari perhitungan untuk berbagai metode dapat dilihat di Gambar 2.3



Gambar 2-3 Perbandingan antara metoda perencanaan komposit

2.4 Kinerja Perkerasan Komposit

Untuk mendalami kinerja perkerasan ini perlu dilakukan analisis mekanis yang meliputi retak fatiq, perencanaan deformasi dari lapisan aspal, retak defleksi, lendutan, tegangan dan regangan horizontal. Sebagai contoh berikut ini disajikan perbandingan antara parameter tersebut di atas, seperti diperlihatkan pada Tabel 2.7

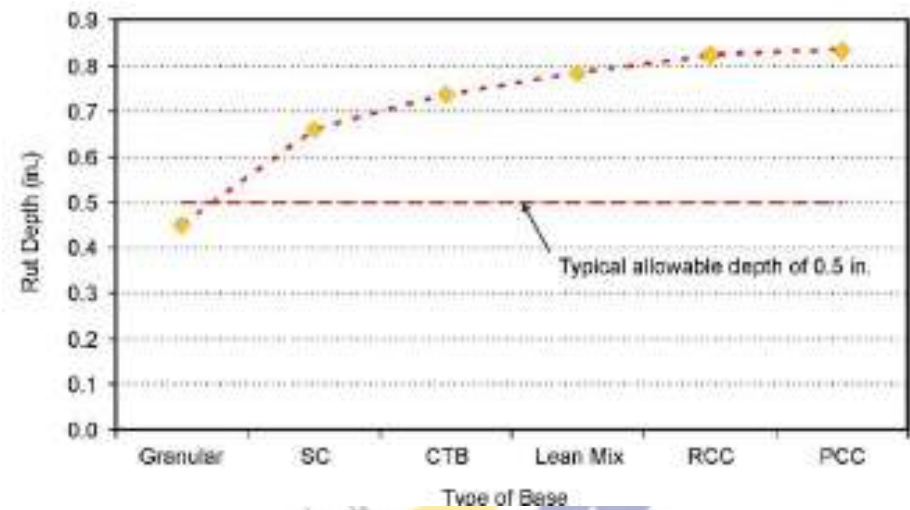
Tabel 2-7 HMA and Rigid Base Fatigue

Structure	Tensile Strain ($\times 10^{-4}$) bottom of HMA	Tensile Stress (psi) bottom of Rigid layer	Repetitions to HMA Fatigue Failure (ESALs) ^a	Repetitions to Rigid Fatigue Failure (ESALs)
HMA on granular	197	-	12,800,000	-
HMA on soil cement	25	42	44,500,000,000	4,890,000
HMA on CTB	3.4	57	<i>infinite</i>	186,000,000
HMA on lean mix	-	74	<i>infinite</i>	6,260,000,000
HMA on RCC	-	96	<i>infinite</i>	<i>infinite</i>
HMA on PCC	-	96	<i>infinite</i>	<i>infinite</i>

^a Note: The V_{90} and V_{95} parameters in Equation 13b are assumed to be 7% and 4%, respectively
1 MPa = 145 psi

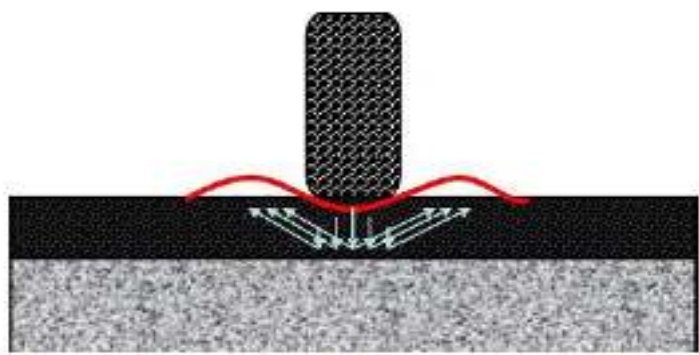
2.4.1 Prediksi Permanen Deformasi Alur

Prediksi tipikal alur pada lapisan aspal, di atas base berbasis semen dapat dilihat pada Gambar 2. 4 untuk beban 50 juta KSAL



Gambar 2-4 Alur pada HMA pada beberapa jenis lapisan Base untuk beban lalu lintas 50 juta KSAL

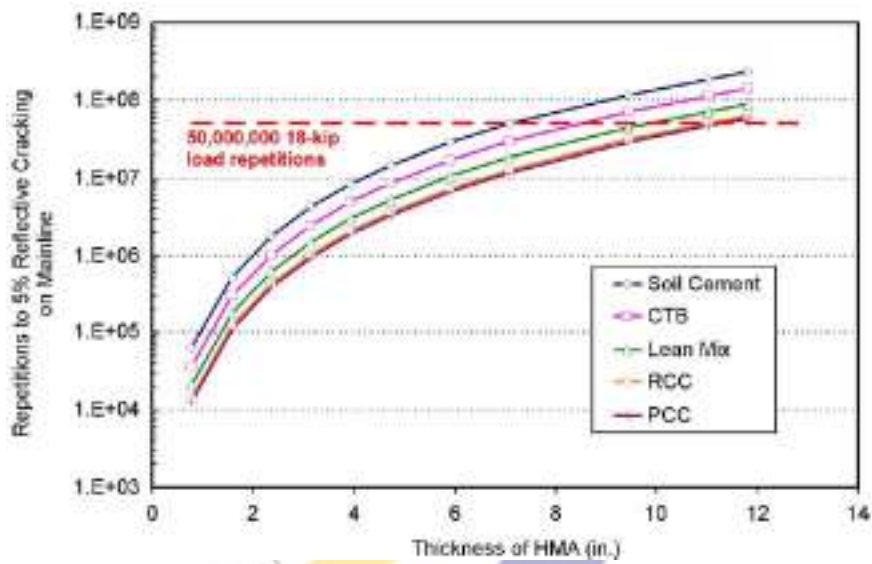
Pengaruh lapisan base/beton yang kaku terhadap alur pada lapisan beraspal ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2-5 Ilustrasi deformasi permanen pada HMA akibat kekakuan lapisan base

2.4.2 Prediksi retak refleksi

Tipikal prediksi retak refleksi yang menggunakan modul dari *Souse et-
el* dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2-6 Retak refleksi pada berbagai jenis base dan tebal HMA

Terlihat semakin kaku lapis bawahnya, semakin kecil angka repetisi beban untuk mencapai 5% retak refleksi pada Hot Mix aspal. Akan tetapi hal ini akan berbeda bila lapisan perkerasan betonnya CRCP, karena penulangan CRCP akan menahan / mengurangi beban yang terjadi.

Selanjutnya dapat dilihat dari gambar tersebut tebal minimum lapisan aspal 10 cm untuk menahan retak refleksi sudah cukup sesuai, di mana jumlah repetisi beban untuk terjadinya retak repetisi dengan tebal aspal kurang dari 10cm sangat cepat penurunan jumlahnya.

3

PELAPISAN ULANG ASPAL DI ATAS PERKERASAN BETON

Tipe perkerasan beton yang umum ialah perkerasan bersambung tanpa tulangan (JPCP), perkerasan beton bersambung dengan tulangan (JRCP) dan perkerasan beton menerus dengan tulangan (CRCP), di samping masih ada tipe lainnya seperti perkerasan beton pracetak dan perkerasan beton prategang.

Pelapisan Ulang Aspal Beton Pada perkerasan beton JPCP; JRCP dan CRCP.

Pelapisan ulang dengan aspal beton di atas perkerasan beton merupakan salah satu alternatif rehabilitasi, kecuali bila kondisi dari perkerasan lama betul - betul perlu diangkat dan diganti. Kondisi di mana pelapisan aspal beton tidak fisibel untuk pelapisan ulang, ialah :

1. Jumlah pelat yang mengalami kerusakan retak dan gompal (*spalling*) di sambungan begitu besar sehingga penggalian dan penggantian perlu dilakukan.
2. Kerusakan yang cukup besar pada perkerasan beton telah terjadi akibat masalah *durability* (keawetan) misalnya retak “D” atau agregat yang reaktif.
3. Ruang bebas arah vertikal pada jembatan tidak mencukupi untuk ketebalan pelapisan ulang yang diperlukan.

Pelaksanaan pelapisan ulang aspal di atas perkerasan beton ini mencakup kegiatan :

1. Perbaikan daerah yang mengalami kerusakan serta memperbaiki drainase bawah permukaan (jika diperlukan)
2. Pelebaran konstruksi perkerasan (jika diperlukan)
3. Penyemprotan *tack coat*
4. Penghamparan aspal beton, termasuk konstruksi pengendali retak refleksi.

3.1 Perbaikan Sebelum Pelapisan Ulang

Jenis kerusakan yang perlu diperbaiki pada perkerasan beton sebelum pelapisan ulang dengan aspal beton, ialah :

Jenis kerusakan	Tipe perbaikan
Working cracks	Perbaikan full depth atau penggantian pelat
Punchout	Perbaikan full depth perkerasan beton
Spalled joints (gompal di sambungan)	Perbaikan full depth atau partial depth
Perbaikan yang rusak (deteriorated repair)	Perbaikan full depth
Pumping/ Faulting	Perbaikan saluran tepi
Settlements/ heaves (ambblas/terangkat)	AC level up, slab jacking atau rekonstruksi lokal

Perbaikan *full - depth* dan penggantian pelat pada JPCP dan JRCP hendaknya menggunakan perkerasan beton, yang diberi dowel atau diikatkan untuk menyediakan penyalur beban melintasi perbaikan sambungan tersebut. Beberapa agensi telah melaksanakan *full – depth* aspal beton pada JPCP dan JRCP sebelum pelapisan aspal beton. Akan tetapi, hal ini seringkali menimbulkan pelapisan ulang yang tidak rata (setempat), terjadi celah dekat sambungan dan retak, serta kerusakan retak

refleksi yang lebih cepat di batas – batas pengisian / tambalan di lapisan aspal beton.

Perbaikan *full – depth* pada CRCP harus perkerasan beton lagi, serta harus perkerasan beton menerus dengan tulangan di mana tulangnya diikatkan atau di las ke penulangan yang ada pada perkerasan lama guna memberikan penyaluran beban pada sambungan dan pelat yang bersifat menerus.

Perbaikan dengan *full – depth* menggunakan aspal beton pada perkerasan beton menerus dengan tulangan sebelum pelapisan ulang dengan aspal beton tidak boleh dilakukan, dan setiap tambalan atau perbaikan dengan aspal beton yang ada pada perkerasan lama harus dibongkar dan diganti dengan perkerasan beton menerus sebelum dilakukan pelapisan ulang dengan aspal beton.

3.2 Pengendalian Retak Refleksi

Prinsip dasar dari mekanisme retak refleksi ialah konsentrasi regangan pada lapisan ulang akibat pergerakan pada sambungan dan retak pada perkerasan lama. Pergerakan ini bisa lentur atau geser akibat beban, atau penyusutan horizontal akibat perubahan temperatur. Beban menimbulkan pergerakan yang dipengaruhi oleh tebal dari lapisan *overlay* serta tebal dan kekakuan dari perkerasan lama. Temperatur mengakibatkan pergerakan yang dipengaruhi oleh variasi temperatur harian atau musiman, koefisien pemuaian thermal dari perkerasan lama, serta celah pada sambungan dan retak.

Pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan JPCP atau JRCP, retak refleksi umumnya berkembang relatif cepat setelah pelapisan ulang dilaksanakan (seringkali lebih singkat dari satu tahun). Kecepatan retak refleksi tergantung pada hal hal tersebut di atas. Berbagai pengendali retak refleksi telah digunakan dalam upaya mengendalikan kecepatan retak refleksi yang terjadi. Berikut ini berbagai pengendali retak refleksi dalam upaya mengontrol retak pada lapisan ulang aspal beton pada JPCP atau JRCP:

1. **Menggergaji dan menutup sambungan pada lapisan aspal beton di lokasi yang sama dengan sambungan di lapisan bawah pada JPCP atau JRCP.** Teknik ini telah digunakan dan berhasil ketika dilaksanakan pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton bersambung, bilamana penggergajian sesuai dengan sambungan atau retak yang lurus pada daerah yang masih dalam satu inchi.
2. **Mempertebal lapisan ulang aspal beton.** Retak refleksi akan memakan waktu lebih lama untuk naik melalui lapisan ulang yang lebih tebal serta kerusakan akan berjalan lebih lambat.
3. **Memasang stabilisasi bitumen granular interlayer** (agregat dengan ukuran besar), sebelum atau dikombinasikan dengan pemasangan lapisan aspal beton terbukti telah sangat efektif.
4. **Memasang synthetic fabric atau stress absorbing interlayer** sebelum atau bersamaan dengan penghamparan aspal beton. Efektifitas dari teknik ini masih dipertanyakan.
5. **Rubblizing dan compacting JPCP, JRCP, atau CRCP terlebih dahulu** sebelum penghamparan aspal beton. Teknik ini memperkecil ukuran PCC menjadi tidak lebih dari 12 inchi dan intinya mengurangi ukuran pelat menjadi granular base berkualitas tinggi.
6. **Cracking and seating JPCP atau breaking dan seating JRCP terlebih dahulu** sebelum penghamparan pelapisan ulang aspal beton. Teknik ini, mengurangi ukuran pecahan – pecahan pelat dan lapisan base di bawahnya, yang akan mengurangi pergerakan retak horizontal dan vertikal.

Retak refleksi seringkali mempengaruhi umur dari pelapisan ulang aspal beton di atas JPCP atau JRCP. Kerusakan retak refleksi akan menurunkan tingkat pelayanan perkerasan dan juga memerlukan pemeliharaan yang sering, seperti *sealing*, *milling*, dan tambalan. Retak refleksi juga memberikan kesempatan air untuk masuk ke konstruksi perkerasan, yang akan mengakibatkan hilangnya ikatan antara aspal dan beton, *stripping* pada aspal beton, meningkatnya retak “D” atau kerusakan agregat yang reaktif pada perkerasan beton (masalah *durability*) dan mengakibatkan lemahnya lapisan base dan subbase. Dengan alasan tersebut di atas, retak refleksi harus segera

diseal/ begitu muncul dan *disealing* ulang secara periodik selama umur pelapisan ulang tersebut. *Sealing* pada retak refleksi dengan tingkat keparahan yang rendah, bisa efektif untuk memperlambat kecepatan ke arah tingkat kerusakan medium atau tinggi.

Pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton, perbaikan permanen dari punchout dan working cracks dengan penulangan yang dikaitkan atau dilas dari perbaikan *full – depth* akan memperlambat timbulnya retak dan kerusakan akibat retak refleksi. Perbaikan subdrain dan subsealing di daerah yang kehilangan daya dukung akan menghambat kebangkitan munculnya dan timbulnya kerusakan retak refleksi. Penanganan retak refleksi tidak diperlukan pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton CRCP, kecuali pada sambungan memanjang.

3.3 Perencanaan Tebal

Tebal lapisan pelapisan ulang tergantung pada tujuan dari pelaplsan ulang tersebut. Bilamana pelapisan ulang tersebut untuk tujuan memperbaiki sifat fungsional saja seperti *kerataan* ataupun kekesatan jalan, maka tebal minimum untuk keperluan fungsional tersebut yang harus dilakukan.

Tetapi jika pelapisan ulang tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan perkerasan, maka ketebalan tersebut harus bisa melayani kebutuhan pelayanan lalu lintas selama umur rencana yang diinginkan. Tebal perkerasan tambahan yang diperlukan didapat melalui rumus sebagai berikut :

$$Dol = A (Df - D_{eff}) \dots\dots\dots (persamaan 3-1)$$

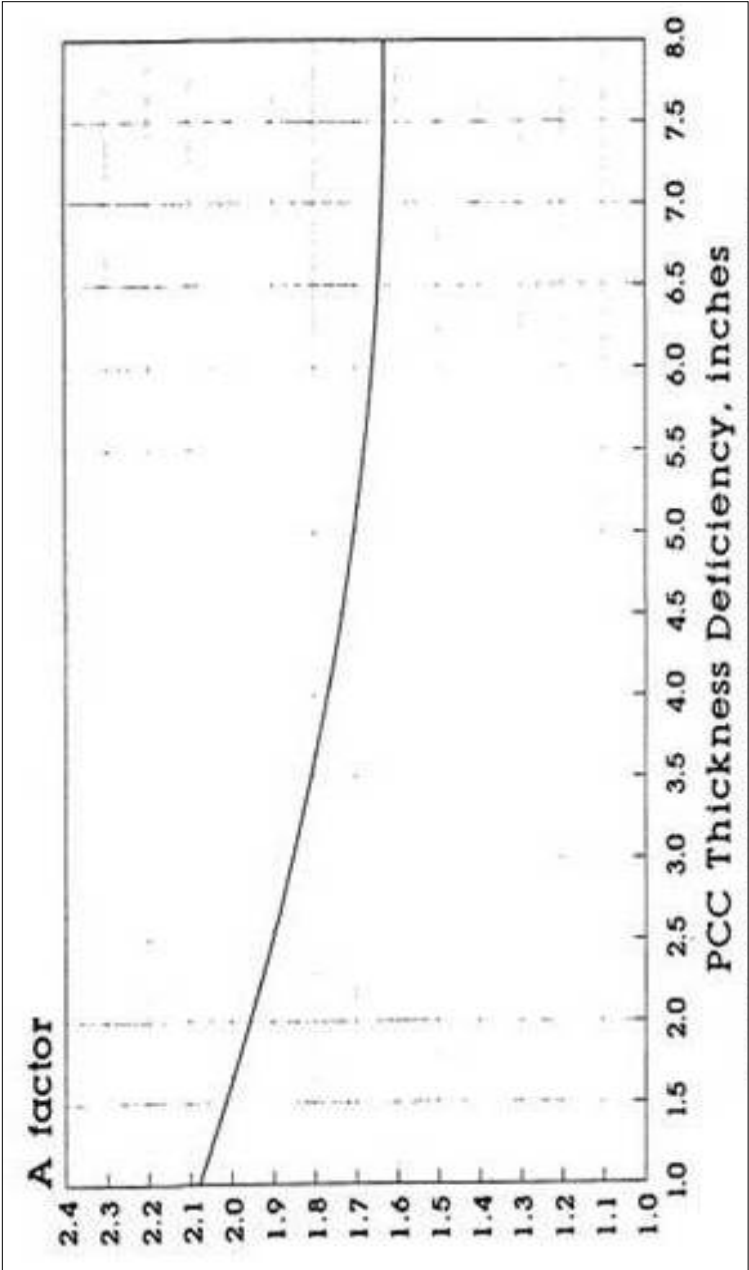
Dengan :

- Dol = tebal yang diperlukan dari pelapisan ulang aspal beton.
- A = Faktor konversi kekurangan tebal pelat beton ke tebal aspal beton
- Df = Tebal pelat untuk melayani lalu lintas kedepan selama umur rencana.
- Deff = Tebal efektif, perkerasan beton yang lama

Faktor A , merupakan faktor yang tergantung pada kekurangan tebal, yang diberikan dengan rumus sebagai berikut :

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - D_{eff})^2 - 0,1534 (D_f - D_{eff}) \dots (\text{persamaan 3-2})$$

Selain dengan rumus tersebut, nilai A dapat dicari dengan menggunakan Gambar 3.1



Gambar : 3-1 Faktor “A” konversi pengurangan ketebalan lapis perkerasan beton ke lapis aspal beton

Tebal lapis ulang aspal beton pada JPCP, JRCP dan CRCP telah dilakukan dengan paling tipis 2 inchi dan yang paling tebal 10 inchi. Tebal lapisan ulang yang paling umum ialah antara 3 inchi sampai dengan 6 inchi.

Langkah – langkah yang diperlukan untuk perencanaan tebal ini, ialah :

3.3.1 Identifikasi Perencanaan Perkerasan Lama

- 1) Tebal pelat pada perkerasan lama.
- 2) Tipe penyaluran beban (penyaluran beban mekanis, agregat interlock, CRCP).
- 3) Tipe bahu jalan (Perkerasan beton yang diikat, lain – lain).

3.3.2 Analisa Beban Lalu Lintas

- 1) Beban komukatif ESAL yang telah lalu pada lajur rencana, untuk dipergunakan pada metoda umur sisa D_{eff} .
- 2) Perkiraan ESAL dimasa datang, pada lajur rencana selama umur rencana (N_f)

Gunakan perhitungan ESAL dari ekivalen beban untuk perkerasan beton.

3.3.3 Survey Kondisi

Survey dilakukan untuk mendapatkan data kerusakan perkerasan. Survey dilakukan pada lajur yang paling berat menerima beban lalu lintas, guna menentukan perkiraan jumlah dan jenis kerusakan tersebut. Tingkat keparahan kerusakan dikatagorikan kedalam sedang dan tinggi.

JPCP/ JRCP :

- 1) Jumlah kerusakan sambungan melintang per mile.
- 2) Jumlah kerusakan retak melintang per mile.
- 3) Jumlah tambalan *full – depth* aspal beton, kecuali sambungan yang lebar (lebih lebar dari satu inchi) dan sambungan muai per mile.
- 4) Adanya dan tingkat keparahan dari masalah durability perkerasan beton

- a. Retak “D” : tingkat keparahan rendah (hanya retak), tingkat keparahan medium (beberapa gompal), tingkat keparahan parah (gompal parah).
 - b. Retak akibat agregat reaktif : rendah, sedang dan tinggi.
- 5) Adanya faulting, atau pumping dari material halus atau air pada sambungan, retak, dan tepi perkerasan.

CRCP :

- 1) Jumlah puch out per mile.
- 2) Jumlah kerusakan retak melintang per mile.
- 3) Jumlah tambalan *full – depth* aspal beton, kecuali sambungan yang lebar (lebih lebar dari satu inchi) dan sambungan muai per mile (kecuali pada jembatan).
- 4) Jumlah perbaikan yang lama dan baru sebelum pelapisan ulang per mile.
- 5) Adanya dan tingkat keparahan dari masalah durability perkerasan beton (catatan : gompal permukaan pada retak yang kecil di mana lapisan bawah CRCP masih baik jangan dimasukkan pada masalah *durability*)
 - a. Retak “D” : tingkat keparahan rendah (hanya retak), tingkat keparahan medium (beberapa gompal), tingkat keparahan parah (gompal parah).
 - b. Retak reaktif agregat : rendah, sedang dan tinggi.
- 6) Adanya *faulting*, atau *pumping* dari material halus atau air.

3.3.4 Pengujian Lendutan (Sangat Disarankan)

Pengujian cekung lendutan sepanjang proyek dengan interval yang umum antara 100 sampai 1000 feet. Pengukuran lendutan dengan sensor yang dipasang pada 0; 12; 24, dan 36 inchi dari pusat beban, di mana pengukuran dilakukan pada jejak roda luar dengan beban yang disarankan 9000 pounds.

Dari masing – masing pelat yang diuji, hitung nilai “k” efektif dan modulus elastisitasnya dengan cara “back calculation” menggunakan Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 atau backcalculation program lainnya.

AREA dari setiap cekung lendutan dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini, di mana umumnya nilai AREA antara 29 sampai 32.

$$AREA = 6 * \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_0} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_0} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_0} \right) \right] \dots\dots \text{(persamaan 3-3)}$$

Dengan :

d_0 = lendutan di pusat beban, (in)

d_i = lendutan pada 12, 24, dan 36 inchi dari pusat beban, (in)

(1) Nilai Efektif dinamis “k”. Dengan menggunakan Gambar 3.2 dengan nilai d_0 dan AREA didapat nilai “k” di bagian bawah pelat untuk pelat dengan ukuran jari – jari 5,9 inchi dan beban 9000 pounds. Untuk beban sekitar 2000 pounds, lendutannya bisa dihitung secara linier terhadap lendutan dengan beban 9000 pounds.

(2) Nilai “k” efektif statis

Nilai “ k “ efektif statis = nilai “ k “ efektif dinamis / 2

Nilai “ k “ efektif statis, mungkin perlu disesuaikan terhadap pengaruh musim. Akan tetapi walaupun nilai “k” bisa berubah dengan sangat drastis, namun hanya akan memberikan pengaruh yang kecil terhadap tebal pelapisan ulang.

(3) Modulus elastisitas dari pelat perkerasan beton (E). Dengan menggunakan Gambar 3.3 dan menempatkan nilai AREA serta nilai “k” dinamis yang sesuai, didapat nilai ED^3 , dengan D ialah tebal pelat dalam inchi, yang akhirnya didapat nilai E. Umumnya nilai E antara 3 juta sampai 8 juta psi. Jika nilai E keluar dari nilai umum di atas, ada kesalahan yang mungkin terjadi, bisa dari ketebalan pelat, pengukuran cekung lendutan melalui retakan, atau perkerasan beton mengalami kerusakan yang cukup parah.

(4) Sambungan Penyaluran beban (*joint load transfer*). Untuk JPCP dan JRCP pengukuran sambungan penyaluran beban dilakukan pada jejak roda luar di beberapa tempat yang mewakili. Jangan melakukan hal ini

bila ambient temperatur lebih besar dari 80 °F (37°C) Pengujian dilakukan dengan meletakkan pelat beban sedemikian rupa sehingga bagian luarnya menyentuh bagian sambungan dan pembacaan lendutan dilakukan pada pusat beban serta titik sejauh 12" dari pusat beban. Hitung lendutan penyaluran beban dari rumus di bawah ini :

$$\Delta LT = 100 * \left(\frac{\Delta ul}{\Delta l} \right) * B \dots\dots\dots \text{(persamaan 3-4)}$$

Dengan :

- ΔLT = lendutan penyalur beban, persen
- Δul = lendutan, bagian yang tidak dibebani, inchi
- Δl = lendutan , bagian yang dibebani, inchi
- B = faktor koreksi lendutan pelat

Faktor koreksi beban, B, diperlukan karena pengujian lendutan d_0 dan d_{12} , berjarak 12 inchi, tidak akan sama jika diukur dibagian tengah pelat. Faktor koreksi B ini, nilainya antara 1.05 sampai 1,15

$$B = \frac{d0 \text{ tengah pelat}}{d12 \text{ tengah pelat}} \dots\dots\dots \text{(persamaan 3-5)}$$

Untuk JPCP dan JRCP, nilai J pada penyaluran beban dapat diambil dari pedoman berikut :

Persen penyaluran beban	J
Lebih besar dari 70	3,2
Antara 50 – 70	3,5
Lebih kecil dari 50	4,0

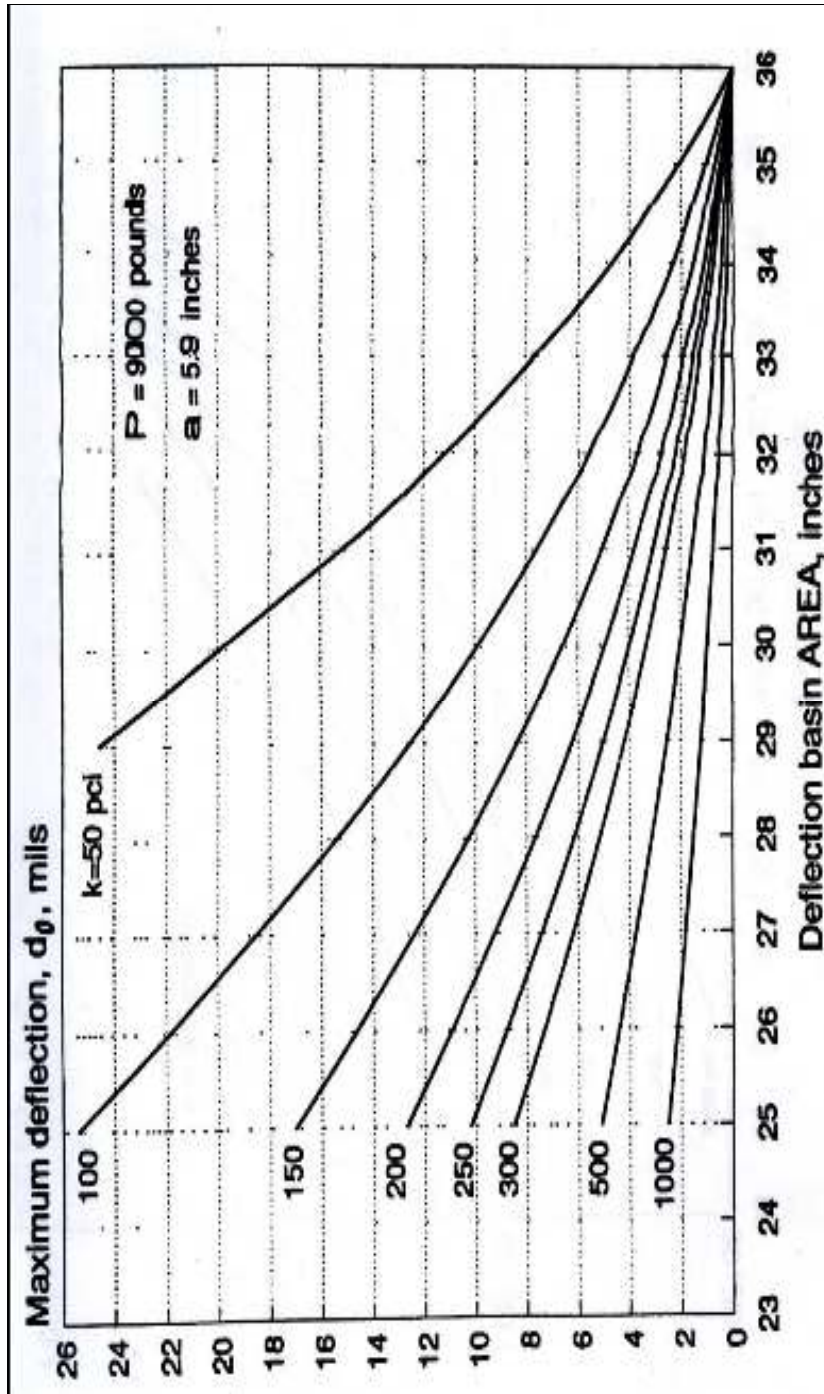
Jika rehabilitasi akan memasukkan penambahan bahu beton yang diikatkan, maka nilai faktor J yang lebih rendah dapat digunakan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 di bawah ini :

Tabel 3-1. Penentuan nilai J

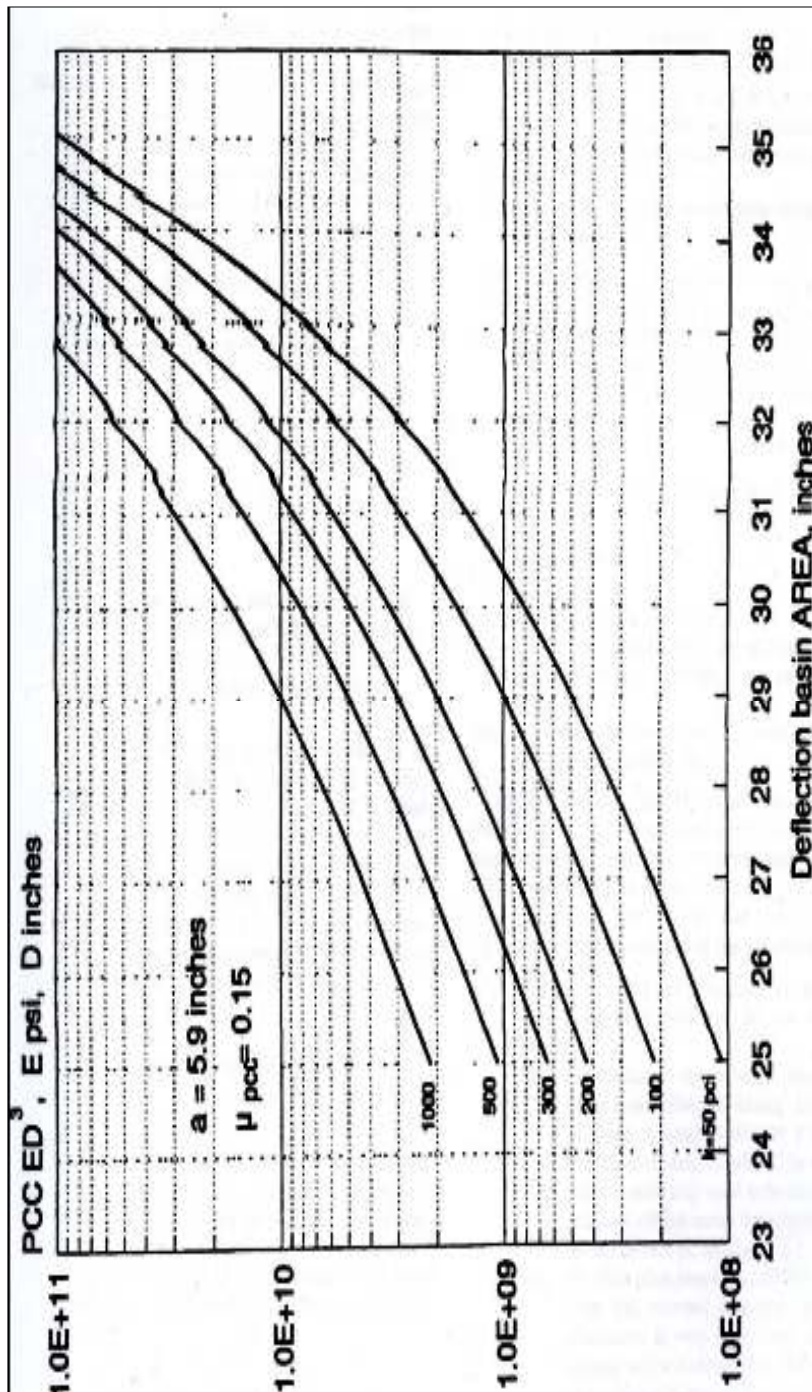
Bahu jalan	Aspal		Perkerasan beton dengan ikatan	
Penyalur beban	Ya	Tidak	Ya	tidak
Jenis perkerasan				
JPC dan JRC	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
CRCP	2,9 – 3,2	N/A	2,3 – 2,9	N/A

Untuk perkerasan, CRCP gunakan $J = 2,2$ sampai $2,6$ bagi pelapisan ulang, dengan menganggap bahwa semua *working cracks* diperbaiki.





Gambar 3-2 Penentuan “k” dinamis dari AREA dan lendutan



Gambar 3-3 Modulus Elastisitas beton berdasarkan nilai “k” dan nilai AREA

3.3.5 Pengujian Bor Inti Dan Bahan (Sangat disarankan)

Modulus of rupture (S_c) bisa didapat dengan melakukan pengambilan benda uji menggunakan *core drill* 6" dari bagian tengah pelat dan kemudian diuji kuat tarik tidak langsung (ASTM C 496). Modulus of rupture dihitung dengan rumus berikut :

$$S_c = 210 + 1,021 T \dots\dots\dots (\text{persamaan 3-6})$$

Dengan :

S_c = modulus of rupture, psi

IT = kuat tarik tak langsung (dari coring diameter 6 inchi), psi

3.3.6 Penentuan Tebal Pelat Untuk Lalu Lintas Kedepan Yang Harus Dilayani (D_f)

Ada beberapa parameter yang diperlukan pada penentuan D_f tersebut, yaitu :

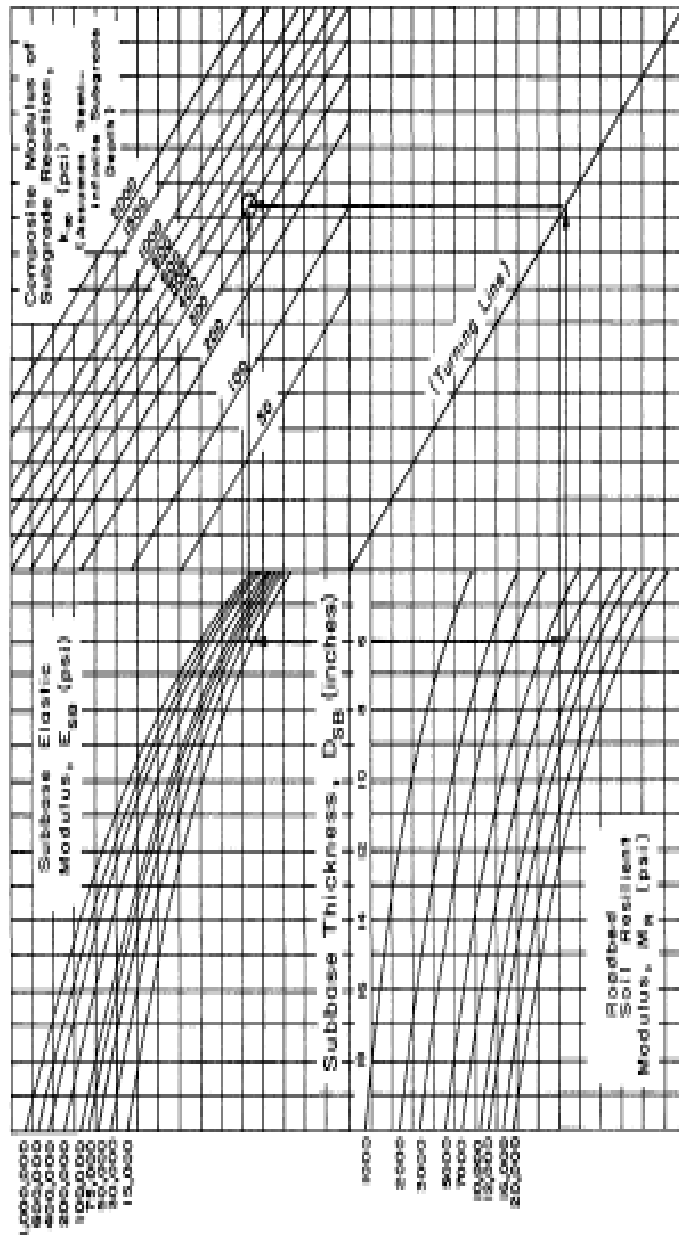
1) Nilai "k" statis di bawah perkerasan beton, yang didapat melalui metoda *back calculation* dari cekung lendutan pengukuran dengan FWD misalnya, atau dari pengujian *plate loading test* (ASTM D 1196) setelah pembongkaran pelat di beberapa tempat, metoda ini sangat memakan waktu dan biaya tinggi. Metoda lainnya ialah berdasarkan perkiraan dari data tanah dan tipe serta tebal pondasi, selanjutnya gunakan grafik yang ada pada Gambar 3.4 berikut :

Nilai yang didapat ini merupakan perkiraan kasar saja dan nilai statis "k" harus dikoreksi akibat musim.

Rencana penurunan PSI, sesaat sesudah dibuka dan pada saat akhir pelayanan perkerasan jalan, faktor penyaluran beban dari perkerasan beton lama.

Example:

$D_{SB} = 6$ inches
 $E_{SB} = 20,000$ psi
 $M_R = 7,000$ psi
 Solution: $k_e = 400$ pci



Gambar 3-4 Grafik untuk menentukan nilai “k” komposit

2) *Modulus of rupture* dari perkerasan beton lama, yang didapat dari salah satu cara di bawah ini :

- Didapat dari pengujian kuat tarik tidak langsung benda uji dengan diameter 6 inci
- Didapat dari hasil perhitungan backcalculation E pelat, dengan menggunakan rumus berikut :

$$S'c = 43.5 \left(\frac{E}{10,000,000} \right) + 488.5 \dots\dots\dots(\text{persamaan 3-7})$$

Dengan :

S'c = modulus of rupture, psi

E = modulus elastis dari perhitungan backcalculation pelat beton atau dari grafik, psi

Untuk perkerasan beton CRCP, S'c bisa ditentukan dari nilai E hasil *back calculation* saja, pada titik yang tidak ada retak di daerah cekung lendutannya.

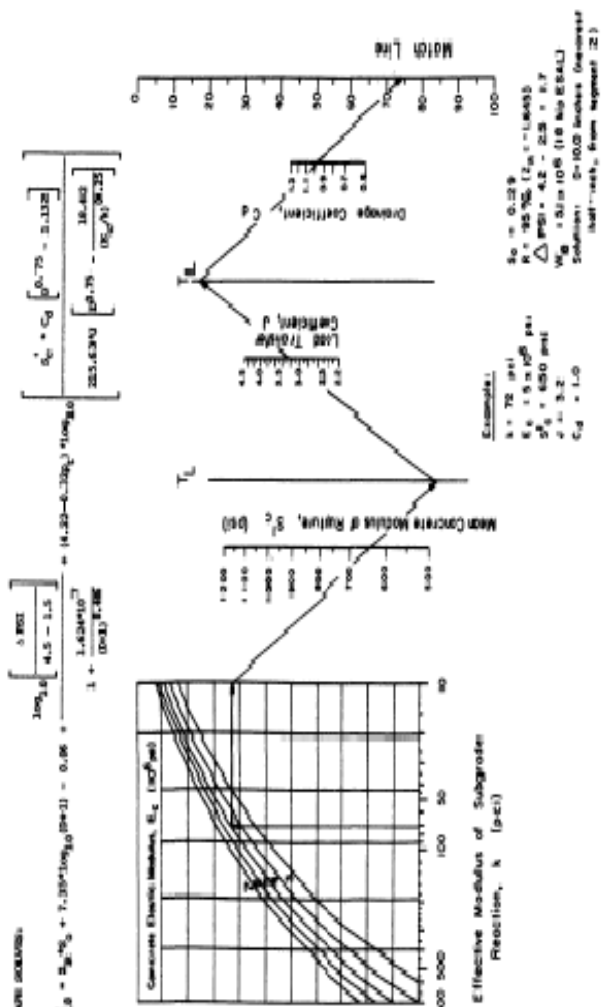
Modulus elastisitas dari pelat beton, dapat ditentukan dengan salah satu metoda di bawah ini :

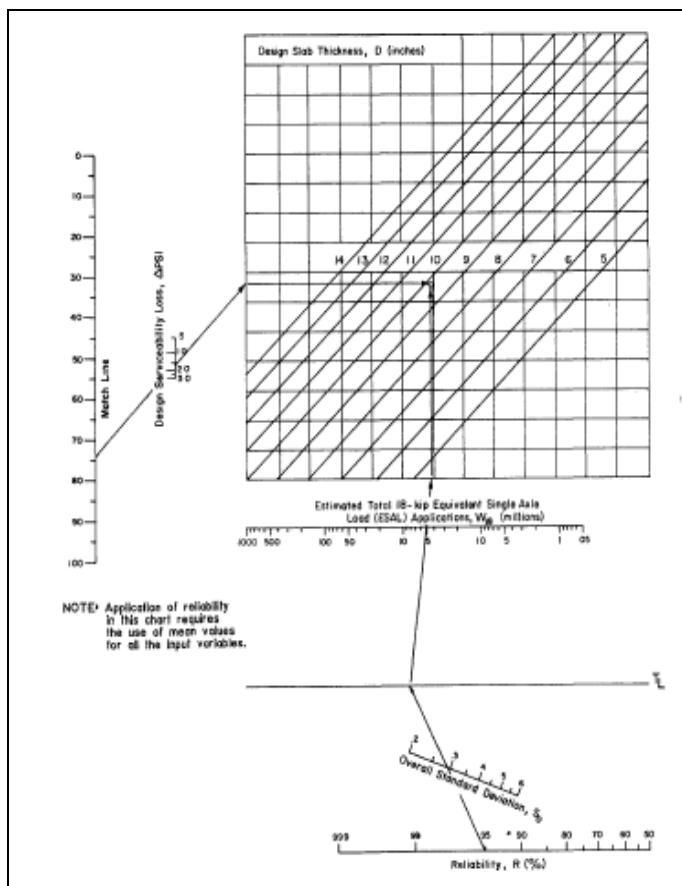
- Menentukan *back calculation* dari pengukuran lendutan, seperti diuraikan pada butir 3.3.4
- Atau dari hasil kuat tarik langsung seperti yang diuraikan pada butir 3.3.5.

3) Kehilangan daya dukung dari perkerasan lama. Sudut di daerah sambungan yang mengalami kehilangan daya dukung bisa diidentifikasi dengan menggunakan FWD. Kehilangan daya dukung pada CRCP bisa ditentukan dengan menggambarkan lendutan pada tepi pelat atau pada jejak roda, dan mengidentifikasi tempat – tempat dengan lendutan yang sangat tinggi. Kehilangan daya dukung pada perkerasan lama bisa dikoreksi dengan stabilisasi pelat. Untuk perencanaan pelapisan ulang, anggap pelat terdukung penuh oleh lapisan pondasinya, sehingga nilai LS= 0.

4) *Reliability*, R (persen) dari perencanaan pelapisan ulang

- 5) Standar deviasi (S0) untuk perkerasan kaku, yang dapat diambil dari pedoman yang disarankan, yaitu antara 0,30 – 0,40
- 6) Kemampuan sub drainage dari perkerasan lama, (Cd). Pumping dan faulting pada sambungan dan retak, merupakan bukti adanya masalah pada sub drain. Sub drain yang jelek pada AASHTO mempunyai nilai Cd = 1,00
- 7) Hitung nilai Df dengan menggunakan input data di atas melalui persamaan perencanaan perkerasan kaku atau menggunakan nomograph untuk perkerasan kaku, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5





Gambar 3-5 Grafik penentuan tebal perkerasan beton

3.4 Tipikal Nilai Parameter Untuk Perencanaan Perkerasan Kaku

3.4.1 Pelat

Modulus of Rupture pelat beton 600 – 800 psi. Modulus Elastisitas pelat beton, 3 juta - 8 juta psi untuk mutu perkerasan beton yang baik, dan < 3 juta untuk mutu perkerasan beton yang tidak baik.

J , faktor penyaluran beban (3,2 sampai 4,0 untuk JPCP dan JRCP, serta 2,2 sampai 2,6 untuk CRCP).

3.4.2 Daya dukung dan drainase

Nilai “k” efektif dinamis

Nilai “k” efektif statis = Nilai “k” efektif dinamis/2 (umumnya antara 50 – 500 psi/in)

Koefisien subdrain Cd (umumnya 1,00 untuk subdrain yang jelek).

3.4.3 Reliability

Rencana Reliability, R (80 – 99 persen)

Standar deviasi keseluruhan, S0 (umumnya 0,39).

3.4.4 Penentuan Tebal Efektif Pelat (D_{eff})

D_{eff} dari survey penilaian kondisi pada perkerasan beton

D_{eff} dihitung dengan rumus berikut :

$$D_{eff} = F_{jc} * F_{dur} * F_{fat} * D \dots\dots\dots (\text{persamaan 3-8})$$

Dengan :

F_{jc} : faktor penyesuaian sambungan dan retak, faktor ini menyesuaikan akibat penambahan kehilangan PSI yang diakibatkan oleh retak refleksi pada lapisan ulang akibat dari kerusakan sambungan, retak, dan diskontinuitas pada perkerasan beton lama yang tidak diperbaiki. Sambungan yang rusak atau retak akan cepat menimbulkan retak refleksi pada lapisan aspal beton. Oleh karena itu, disarankan bahwa semua kerusakan sambungan dan retak, dan setiap diskontinuitas pada perkerasan beton yang ada diperbaiki dengan cara *full – depth* dan diberi dowel atau perbaikan perkerasan beton dengan ikatan sebelum pelapisan ulang, sehingga nilai $F_{jc} = 1,0$.

Jika tidak memungkinkan untuk memperbaiki semua kerusakan, maka informasi berikut ini diperlukan untuk menentukan nilai F_{jc} , guna menambah tebal lapisan ulang akibat ekstra loss PSI.

Perkerasan yang tidak mengalami retak “D “ atau kerusakan akibat agregat reaktif :

- Jumlah kerusakan sambungan yang tidak diperbaiki/mile
- Jumlah kerusakan retak yang tidak diperbaiki/ mile
- Jumlah punchout yang tidak diperbaiki/mile
- Jumlah sambungan muai, kecuali sambungan lebar (lebih lebar dari 1 inchi), dan
- perbaikan full – depth, tambalan dengan lebar lajur penuh/mile

Perlu diingat bahwa retak yang rapat pada CRCP dan JRCP tidak termasuk. Akan tetapi bila retak pada JRCP atau CRCP ialah gompal dan faulting yang menyebabkan kemungkinan rusaknya tulangan, dan retak harus dimasukkan kedalam *working crack*. Gompal pada permukaan pada retak di CRCP bukan merupakan indikasi bahwa retak tersebut termasuk *working crack*. Total jumlah sambungan, punchout dan diskontinuitas yang tidak diperbaiki per mile pada lajur rencana digunakan untuk menentukan F_{jc} , yang didapat dari Gambar 3.6

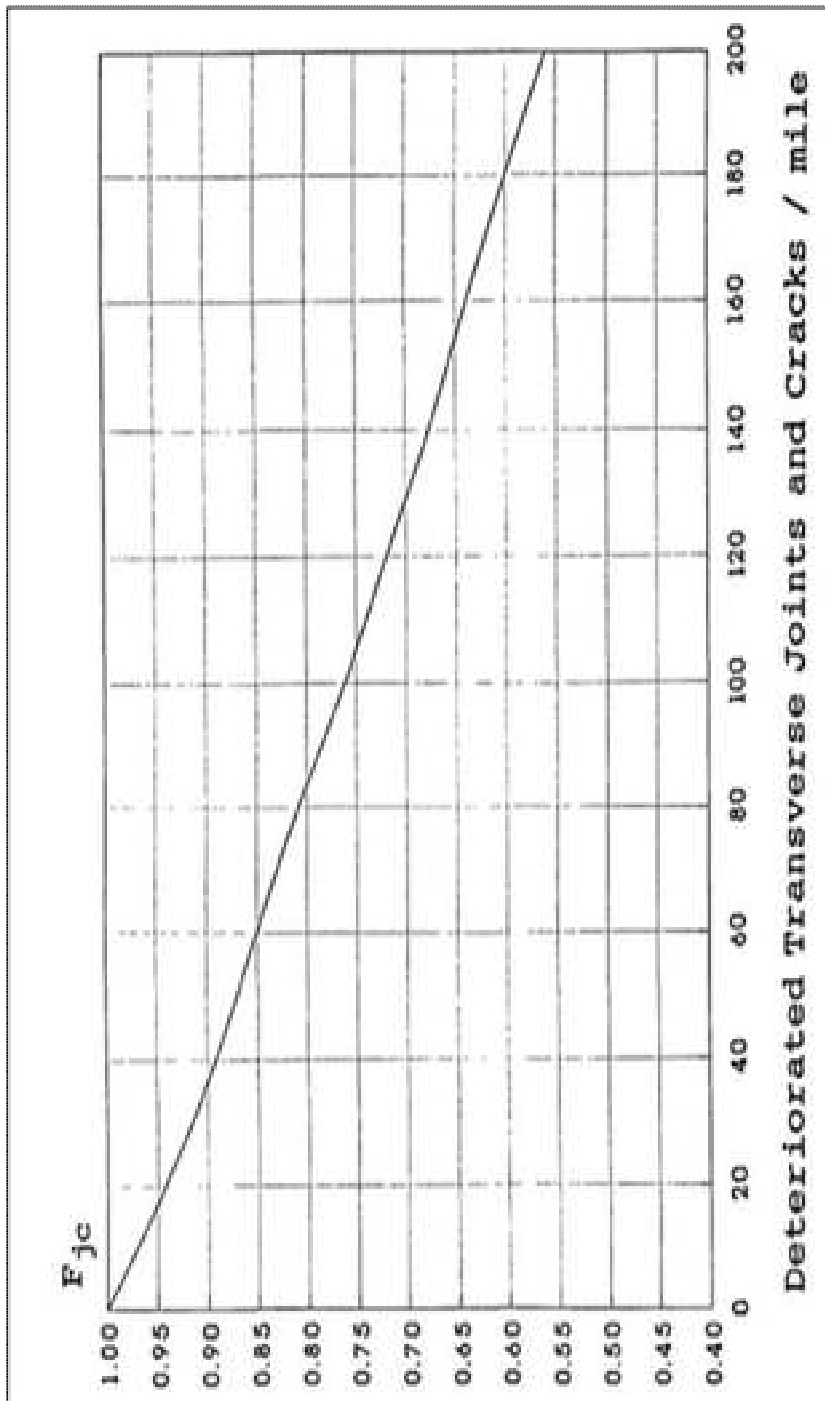
Perkerasan dengan kerusakan berupa retak “D” atau agregat reaktif

Tipe perkerasan seperti ini sering mempunyai kerusakan pada sambungan dan retak akibat masalah durability. Faktor F_{dur} digunakan untuk menyesuaikan ketebalan lapisan ulang untuk masalah ini.

Faktor koreksi durabilitas (F_{dur})

Faktor ini untuk mengoreksi atau penyesuaian akibat ekstra loss pada PSI dari pelapisan ulang di mana perkerasan lama mempunyai masalah durability. Dengan menggunakan data survey (pada langkah 3), F_{dur} ditentukan sebagai berikut :

1,00	Tidak ada masalah durability pada perkerasan beton
0,96 – 0,99	Ada retak durability, tapi tanpa gompal (spalling)
0,88 – 0,95	Retak cukup banyak dan beberapa gompal terjadi
0,80 – 0,88	Retak sangat banyak dan terdapat gompal (spalling) yang parah



Gambar 3-6 Grafik F_{jc} Faktor penyesuaian akibat sambungan dan retak

Faktor koreksi kerusakan fatigue (F_{fat})

Penentuan ini dilakukan melalui pengamatan retak melintang (JPCP, JRCP) atau puchout (CRCP) yang diakibatkan utamanya oleh beban berulang. Nilai F_{fat} ini didasarkan data hasil survey dan pedoman sebagai berikut :

0,97 – 1,00	Ada beberapa retak melintang/puchout (bukan disebabkan oleh retak “D” atau agregat reaktif
JPCP	< 5 persen pelat retak
JRCP	< 25 working crack per mile
CRCP	< 4 puchout per mile

0,94 – 0, 96	Ada cukup banyak retak melintang/puchout (bukan disebabkan oleh retak “D” atau agregat reaktif
JPCP	5 – 15 persen pelat retak
JRCP	25 – 75 working crack per mile
CRCP	4 – 12 puchout per mile

0,90 – 0, 93	Banyak sekali retak melintang/puchout (bukan disebabkan oleh retak “D” atau agregat reaktif
JPCP	> 15 persen pelat retak
JRCP	> 75 working crack per mile
CRCP	> 12 puchout per mile

3.4.5 D_{eff} dari umur sisa untuk perkerasan beton

Umur sisa perkersan ditentukan dengan rumus berikut:

$$RL = 100 \left[1 - \left(\frac{N_p}{N_{1.5}} \right) \right] \dots\dots\dots(\text{persamaan 3-9})$$

Dengan :

- RL = umur sisa, persen
- N_p = total beban lalu lintas sampai saat sekarang, ESAL
- $N_{1.5}$ = total beban lalu lintas sampai mencapai “keruntuhan”, ESAL

$N_{1,5}$ bisa diperkirakan dengan menggunakan persamaan atau nomograph. Agar sesuai dengan AASHTO road test, keruntuhan diambil pada PSI sama dengan 1,5 dengan reliability yang direkomendasikan 50%.

D_{eff} ditentukan melalui persamaan berikut :

$$D_{eff} = CF * D \dots\dots\dots(\text{persamaan 3-10})$$

- CF = faktor kondisi yang didapat dari Gambar 3.7
- D = tebal pelat perkerasan beton

D_{eff} dari cara ini tidak menggambarkan keuntungan yang didapat dari perbaikan sebelum pelapisan ulang. D_{eff} yang didapat harus dianggap sebagai nilai dari batas bawah. D_{eff} dari perkerasan akan lebih tinggi jika perbaikan sebelum pelapisan ulang dikerjakan. Metoda ini tidak dapat digunakan tanpa modifikasi bagi perkerasan yang telah mengalami satu atau dua kali pelapisan.

3.4.6 Penentuan Tebal Pelapisan Ulang

Tebal lapisan aspal beton dihitung sebagai berikut :

$$D_{ol} = A (D_f - D_{eff}) \dots\dots\dots(\text{persamaan 3-11})$$

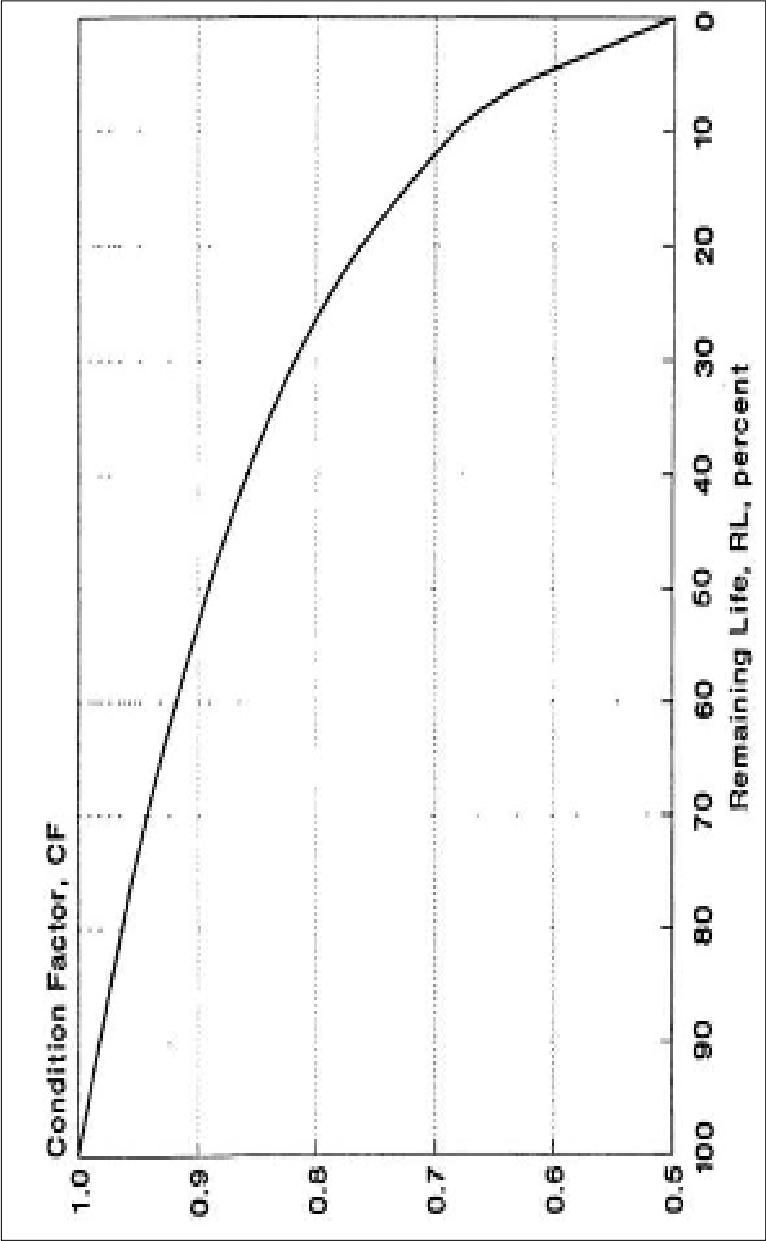
Dengan :

D_{ol}	= ketebalan lapisan ulang aspal beton yang diperlukan, inchi
A	= faktor konversi tebal kekurangan perkerasan beton ke lapisan aspal beton
D_f	= tebal pelat yang ditentukan pada langkah 5.8 (inchi)
D_{eff}	= tebal efektif pelat dari langkah 5.8.4 atau langlah 5.8.5 (inchi)

Faktor A, merupakan fungsi dari kekurangan tebal pelat beton , yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - D_{eff})^2 - 0,1534 (D_f - D_{eff}) ..(\text{persamaan 3-12})$$

Tebal lapis ulang dengan persamaan di atas harus cukup wajar ketika pelapisan ulang dimaksudkan untuk mengoreksi kekurangan nilai struktur. Bila nilai tersebut tidak wajar, maka harus dilakukan pengkajian kepada hal-hal yang memungkinkan ketidakwajaran tersebut.



Gambar 3-7 Hubungan antara umur sisa dan factor kondisi (CF)

4

PELAPISAN ULANG ASPAL BETON DI ATAS PERKERASAN BETON YANG TELAH DI HANCURKAN

4.1 Pengertian umum

Perencanaan pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton yang telah dihancurkan, di mana penghancuran tersebut dapat dilakukan dengan teknik: *crack / seat*; *break / seat*; atau *rubblize / compact*.

Crack/seat yaitu meretakkan perkerasan beton JPCP menjadi pecahan – pecahan yang umumnya berukuran antara satu sampai tiga feet dan selanjutnya pecahan – pecahan tersebut didudukkan dengan kokoh pada lapisan pondasi.

Mendudukkan pecahan – pecahan pelat tersebut umumnya dilakukan dengan alat pemadat roda karet 35 – 50 ton beberapa lintasan di atas bagian pelat yang retak atau pecah.

Break/seat terdiri dari pemecahan perkerasan JPCP menjadi pecahan – pecahan yang besarnya lebih dari satu foot, menghancurkan sistim penulangan atau memecahkan ikatan antara tulangan dengan beton, dan kemudian mendudukkan pecahan – pecahan tersebut dengan kokoh pada lapisan pondasi.

Rubblize/compact terdiri dari pemecahan semua tipe perkerasan beton (tipe JPCP, JPCP, atau CRCP) menjadi pecahan – pecahan yang lebih kecil dari satu feet selanjutnya dilakukan pemadatan lapisan tersebut, umumnya menggunakan dua lintasan atau lebih dengan alat pemadat vibrator berat 10 ton.

Cakupan kegiatan pelapisan ulang aspal di atas pelat beton yang dipecahkan, meliputi :

1. Menghilangkan dan mengganti daerah yang akan menghasilkan ketidak seragaman daya dukung setelah pemecahan.
2. Melakukan perbaikan subdrain jika diperlukan.
3. Breaking dan seating, crack dan seating atau rubblizing pelat dari perkerasan beton dan menggilasnya agar “duduk” atau memadatkannya.
4. Melakukan pelebaran jika diperlukan.
5. Pemberian *tack coat* atau *prime coat*.
6. Penghamparan aspal beton (termasuk pemasangan penahanan retak refleksi jika diperlukan).

4.2 Kelayakan Dari Pelapisan Ulang Dengan Pemecahan Lapisan Beton

Break/seat; crack/seat dan *rubblizing* dimaksudkan untuk mengurangi ukuran pecahan – pecahan pelat beton guna meminimalkan perbedaan pergerakan pada daerah yang retak dari perkerasan lama dan sambungan. Kelayakan dari masing – masing cara tersebut adalah sebagai berikut :

Rubblizing bisa digunakan pada semua tipe perkerasan beton untuk setiap kondisi. Tetapi ini khususnya direkomendasikan untuk perkerasan beton bertulang. Memecahkan pelat beton menjadi berukuran lebih kecil dari 30 cm mengurangi pelat menjadi granular base dengan kekuatan yang tinggi.

Berdasarkan pengujian dengan metoda back calculation dari beberapa proyek menunjukkan modulusnya sangat bervariasi mulai dari 100.000 psi sampai ratusan ribu psi. Crack dan seat digunakan hanya pada perkerasan beton JPCP, dengan membuat pelat beton menjadi retak – retak dengan ukuran antara satu sampai tiga feet. Dari hasil pengujian di beberapa proyek, modulusnya menunjukkan sangat bervariasi mulai dari beberapa ratus ribu psi sampai beberapa juta psi, dengan koefisien variasi 40% bahkan lebih.

Break/seat digunakan hanya pada perkerasan beton JRC dan termasuk perlunya “memecahkan” besi tulangan yang melalui setiap retakan, atau memecahkan ikatan tulangan dengan beton. Jika tulangan tidak hancur serta ikatan antara besi dengan beton tidak pecah, maka perbedaan pergerakan tidak akan berkurang serta retak refleksi akan terjadi. Hasil pengujian lapangan menunjukkan nilai modulus dari *crack and seat* ini bervariasi mulai dari ratusan ribu psi sampai beberapa juta psi, dengan koefisien variasi 40 % bahkan lebih.

Prosedur perencanaan menganggap bahwa semua besi akan rusak (*rupture*) dan ikatan terhadap agregat juga akan hilang melalui proses pecahnya agregat pada *break/seat*, dan ini akan dibuktikan dengan pengujian lendutan di lapangan sebelum pelapisan ulang. Penggunaan *rubblization* disarankan untuk perkerasan JRC dikarenakan kemampuannya untuk memecahkan pelat.

Teknik pemecahan pelat ini umumnya akan sangat efektif pada perkerasan beton yang mengalami kerusakan cukup parah dari pada perkerasan beton yang tingkat kerusakannya lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena berkurangnya perbaikan untuk *working cracks* serta kerusakan sambungan sebelum pelapisan ulang, dan berkurangnya biaya untuk membuat pemecahan pelat serta naiknya keperluan ketebalan pelapisan ulang.

4.3 Perbaikan sebelum pelapisan ulang

Jumlah perbaikan pelapisan ulang yang diperlukan untuk proyek *break/seat*, *crack/seat* dan *rubblized* tidak begitu jelas. Hampir semua proyek yang dikerjakan sebelum 1991 tidak termasuk perbaikan pendahuluan dengan jumlah yang signifikan. Akan tetapi direkomendasikan perbaikan setiap kondisi yang menyebabkan ketidak seragaman setelah proses pemecahan pelat, sehingga tidak akan cepat terjadinya retak refleksi ke lapisan ulang aspal beton. Begitu juga, leveling aspal beton mungkin diperlukan pada pelat yang telah mantap pada pondasi sebelum pelapisan ulang.

4.4 Pengendalian retak refleksi

Bila pelaksanaan *crack/seal* dan *rubblizing* dikerjakan secara sempurna, maka tidak akan diperlukan penanganan untuk retak refleksi. Akan tetapi harus diperiksa betul bahwa retak dan *rubblizing* dikerjakan pada seluruh lebar pelat dan “proses mendudukkan” (*seat*) pecahan pelat dan atau pemadatan hasil *rubblizing* dilakukan dengan baik.

Pada pekerjaan *break/seal* di perkerasan JRCP, retak refleksi akan timbul bila penulangan tidak rusak serta ikatan antara besi dan beton tidak rusak dan bila hal ini tidak bisa dijamin, maka direkomendasikan untuk dilakukan proses *rubblized* pada JRCP tersebut.

4.5 Perencanaan Tebal

Tebal lapisan ulang merupakan fungsi dari keperluan kapasitas struktur yang diperlukan untuk kedepan sesuai dengan beban lalu lintas yang dilayaninya, dan kekuatan struktur setelah dilakukan pemecahan slab.

Tebal lapisan ulang yang diperlukan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SN_{ol} = a_{ol} * D_{ol} = SN_f - SN_{eff} \dots\dots\dots(\text{persamaan 4-1})$$

Dengan :

SN_{ol} = Struktural number yang diperlukan dari lapisan ulang

a_{ol} = Layer koefisien dari lapisan ulang aspal beton

D_{ol} = tebal lapis ulang yang diperlukan (inchi)

SN_f = Struktural number yang diperlukan kedepan sesuai beban lalu lintasnya

SN_{eff} = Struktural number efektif dari perkerasan lama setelah pemecahan

Langkah – Langkah Yang Perlu Dilakukan Pada Perencanaan Tebal Ini, Yaitu :

1) Perkerasan Lama

Perlu diketahui secara jelas data tebal dan jenis masing masing lapisan perkerasan.

2) **Analisa Beban Lalu Lintas**

Prediksi beban lalu lintas dalam ESAL pada lajur rencana selama umur rencana. Pada proses ini pergunakan faktor ekivalen beban dari perkerasan lentur. Bila diketahui jumlah komulatif ESAL untuk perkerasan kaku, maka nilai tersebut dapat dipergunakan dengan terlebih dahulu membaginya dengan angka 1,5

3) **Survey Kondisi Perkerasan**

Survey kondisi ini tidak langsung berkaitan dengan tebal lapisan ulang, tetapi ini untuk menentukan tingkat kelayakan dari metoda penghancuran ini dibanding dengan metoda lainnya.

4) **Pengujian Lendutan**

Pengujian lendutan saat direkomendasikan dan ini diperlukan untuk menentukan nilai resilien modulus dari lapisan tanah dasar saja, di mana alat yang dipergunakan ialah alat pengukur lendutan yang besar (misal FWD dengan beban 9000 lbs) yang dilakukan di bagian tengah plat yang tidak mengalami retak pada perkerasan beton sebelum dilakukan pemecahan. Diperlukan juga pengukuran lendutan yang jaraknya 4 ft dari pusat beban.

Modulus resilien tanah dasar dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$M_R = 0,24 P/ d_r r$ (persamaan 4-2)

Dengan :

- M_R = resilien modulus tanah dasar (psi)
- P = beban dalam (pounds)
- d_r = lendutan pada jarak “r” dari pusat beban, inchi
- r = jarak dari pusat beban, inchi

Jarak minimum bisa ditentukan dari hubungan sebagai berikut :

$r \geq 0,7 a_e$

dengan

$a_e = \sqrt{\left[a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2 \right]}$ (persamaan 4-3)

dengan :

a_e = jari jari dari bentuk tegangan pada permukaan lapisan tanah dasar

a = jari – jari dari pelat beban NDT, (in)

D = tebal total perkerasan di atas tanah dasar, (in)

E_p = Modulus efektif dari semua lapis perkerasan di atas subgrade (psi)

Modulus efektif dari perkerasan (E_p) dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$d_0 = 1.5 p a \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2 \left(\frac{E_p}{M_R} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2 \left(\frac{E_p}{M_R} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\} \dots\dots(\text{persamaan 4-4})$$

dengan :

d_0 = lendutan di pusat beban , (in)

p = tegangan pada pelat beban , (psi)

a = jari jari dari pelat beban NDT, (in)

D = tebal total lapisan perkerasan di atas tanah dasar, (in)

M_R = modulus resiliient tanah dasar , (psi)

E_p = modulus efektif dari lapisan perkerasan di atas tanah dasar, (psi)

Untuk jari jari pelat beban 5,9 in, grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 bisa dipergunakan untuk menghitung E_p/M_R , dan E_p bisa dihitung bila diketahui besarnya M_R

Pengukuran lendutan juga diperlukan setelah *break/seat* atau *creak /seat* dilakukan pada pelat untuk menjamin bahwa pelat telah cukup pecah.

5) Core dan pengujian bahan

Nilai dari persamaan dengan menggunakan persamaan $M_R = 1500 \cdot \text{CBR}$ akan menghasilkan nilai yang terlalu besar untuk prosedur ini.

6) Penentuan Nilai SN_f (structural number untuk masa rencana kedepan)

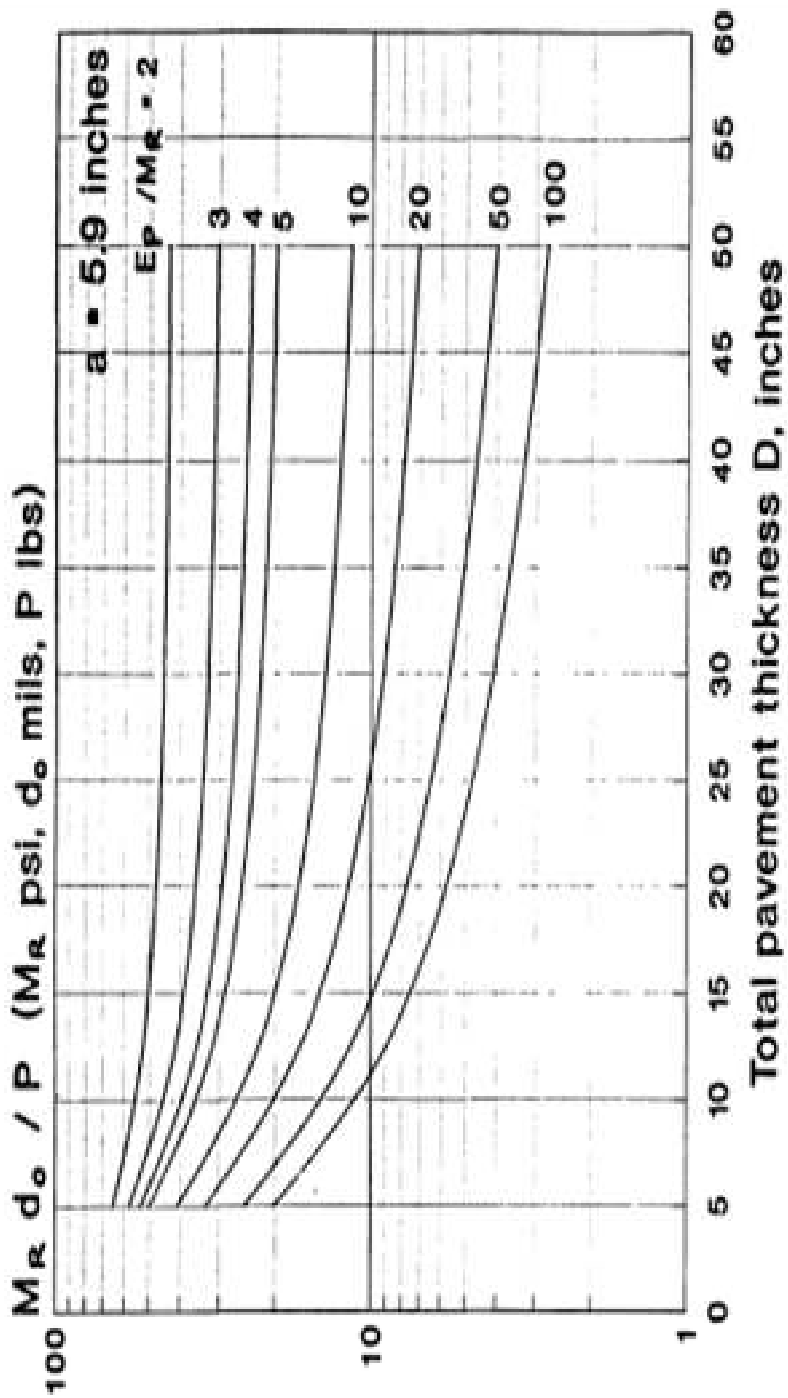
Salah satu parameter yang diperlukan ialah M_R efektif, di mana M_R efektif ini harus disesuaikan dengan variasi musim yang ada, sehingga nilainya mewakili keadaan sebenarnya, dan agar sejalan dengan modulus resilient yang dipergunakan pada AASHTO Road test. Pada perkerasan lentur konvensional, nilai koreksinya (C) ialah sebesar 0,33 bila digunakan beban sekitar 9.000 pounds. Akan tetapi karena tegangan di bawah pelat beton lebih kecil dari pada di bawah perkerasan lentur, maka angka koreksi $C = 0,25$ dipandang lebih memadai.

Jadi M_R design untuk perhitungan SN_{eff} pada pelat yang dipecah ialah :

$$\text{Design } M_R = C \left(\frac{0,24 P}{d_r r} \right) \dots\dots\dots(\text{persamaan 4-5})$$

Dengan nilai C yang direkomendasikan, sebesar 0,25

Bila terdapat lapisan keras di bawah lapisan tanah dasar dengan kedalaman kurang dari 15 ft (4,5 m), maka akan menghasilkan nilai M_R yang terlalu besar, karenanya nilai C yang lebih kecil dari 0,25 perlu dipergunakan. Perencana harus berhati - hati dengan nilai M_R yang terlalu besar, sebab nilai M_R sangat kritis terhadap ketebalan lapisan ulang. Penggunaan nilai M_R yang lebih besar dari 3000 psi menunjukkan bahwa tanah tersebut lebih kaku dari pada A – 6 yang dipergunakan pada AAHSTO Road Test, dan akibatnya akan meningkatkan umur rencana perkerasan tersebut.



Gambar 4-1 Penentuan E_p / M_R

Selanjutnya hitung SN_i dengan menggunakan rumus atau nomograph untuk perencanaan perkerasan lentur dengan melengkapi parameter perencanaan lainnya seperti IPt , Overlay design reliability, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{eff})}{a_{ol}} \dots\dots(\text{persamaan 4-6})$$

7) Penentuan SN_{eff} Dari Perkerasan Beton Lama Yang Telah Dipecahkan

SN_{eff} ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$SN_{eff} = a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \dots\dots(\text{persamaan 4-7})$$

Dengan :

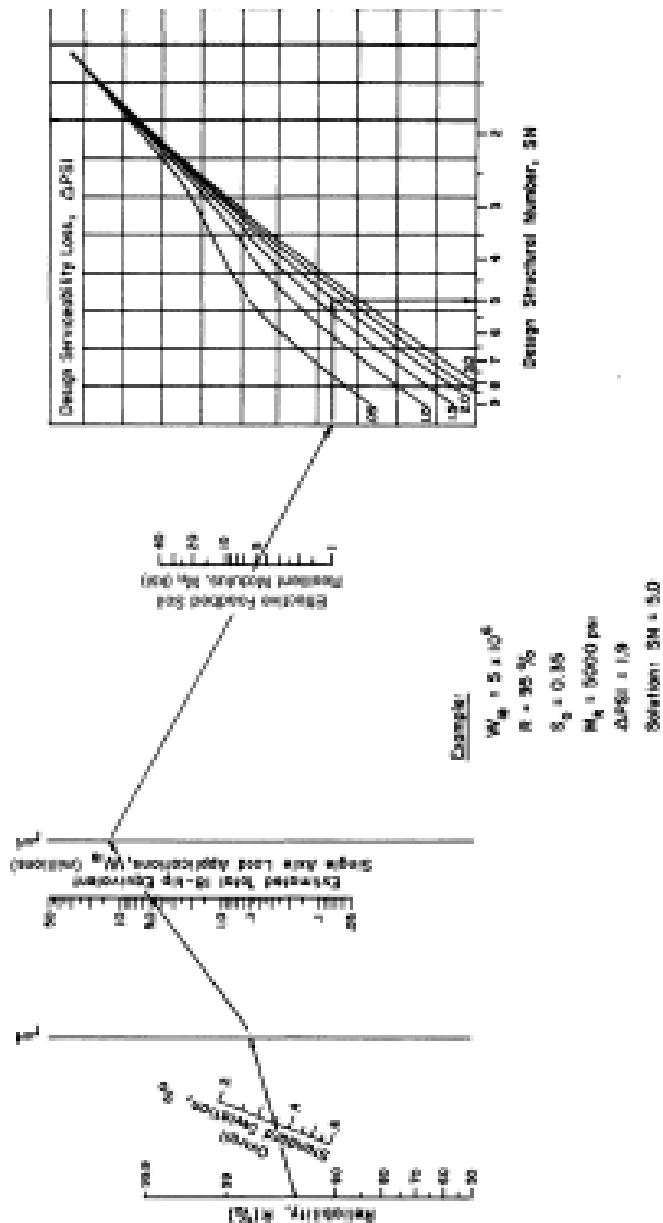
- D_2, D_3 = ketebalan lapisan pelat yang telah pecah dan lapisan pondasi
- a_2, a_3 = nilai kekuatan relatif lapisan pelat yang telah dipecah dan lapisan pondasi
- m_2, m_3 = koefisien drainase untuk pelat yang telah dipecah dan lapisan base

Nilai koefisien drainase untuk pelat yang telah dipecah, nilai defaultnya sama dengan satu, sedangkan untuk drainase subbase atau base yang jelek sesuai dengan metoda AASHTO diambil sama dengan satu atau dapat dilihat pada Tabel 4.1

WORKING SCORE:

$$\log_{10} 18 = 1.255 + 9.36 \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.3 - 1.5} \right]}{1.004} + 2.33 \log_{10} P_{90} - 8.07$$

$$0.48 = \frac{5.19}{(SN+1)}$$



Gambar 4-2 Grafik penentuan tebal perkerasan lentur

Tabel 4-1 Penentuan Koefisien drainase

Kualitas Drainase	Prosen waktu di mana konstruksi perkerasan mengalami kadar air yang mendekati jenuh			
	Kurang dari 1%	1-5%	5 – 25%	Lebih dari 25%
Sangat baik	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Baik	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Cukup	1,25 – 1, 15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Jelek	1, 15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Sangat Jelek	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Koefisien relatif lapisan untuk pelat yang telah dipecah dapat dilihat pada Tabel 4.2, disarankan sebaiknya setiap agensi bidang jalan mempunyai satu set nilai koefisien relatif lapisan sesuai dengan pengalamannya.

Tabel 4-2 Koefisien lapisan untuk pelat yang telah dipecah

Material	Kondisi pelat	koefisien
Break/ seat JRCPC	Pecahan pelat lebih besar dari satu feet dengan penulangan yang telah hancur atau ikatan besi dan beton nya rusak	0,20 – 0,35
Crack/ seat JPCPC	Pecahan satu sampai tiga feet	0,20 – 0,35
Rubblized PCC (Semua tipe perkerasan kaku)	Pecahan pelat yang betul betul pecah dengan ukuran lebih kecil dari satu foot	0,14 – 0, 30
Base/subbase granular dan	Tidak terjadi degradasi dan masuknya butiran halus	0,10 – 0, 14
Stabilisasi	Terjadi degradasi atau masuknya butiran halus	0,00 – 0,10

Beberapa hal yang harus diperhatikan, ialah :

1. Tipikal M_R design ialah 2000 – 10000 psi untuk tanah berbutir halus; 10000 sampai 20000 untuk tanah berbutir kasar. AASHTO road test menggunakan nilai M_R 3000 psi dalam persamaan perencanaan tebal.
2. Design reliability untuk lapisan ulang M_R , antara 80 sampai 99 persen
3. Standar deviasi keseluruhan S_0 (umumnya 0,49)
4. Serviceability loss ($P_1 - P_2$) , (1,2 sampai 2,5)



5

PELAPISAN ASPAL BETON DI ATAS PERKERASAN BETON JPCP, JRCP DAN CRCP YANG TELAH DI BERI LAPISAN ASPAL SEBELUMNYA (AC/ JPCP, AC/ JRCP DAN AC/ CRCP)

5.1 Pengertian Umum

Kegiatan yang mencakup pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton yang telah diberi lapisan aspal beton sebelumnya, meliputi :

1. Memperbaiki tempat – tempat yang mengalami kerusakan dan memperbaiki drainase jika diperlukan.
2. Milling sebagian lapisan aspal beton lama.
3. Melakukan pelebaran (jika diperlukan).
4. Memberikan lapaisan tack coat.
5. Menghampar lapisan ulang aspal beton , termasuk lapisan penanganan retak refleksi (jika diperlukan).

5.2 Kelayakan pelapisan ulang di atas perkerasan beton yang telah beraspal

Pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton yang telah diberi aspal beton sebelumnya merupakan suatu teknik yang cukup layak, kecuali bila perkerasan lama perlu dibongkar dan diganti. Berikut ini merupakan kondisi yang tidak layak untuk melakukan pelapisan ulang aspal beton tersebut :

1. Jumlah kerusakan retak pada pelat dan gompal pada sambungan begitu besar, sehingga perlu dilakukan pembongkaran dan penggantian dari perkerasan lama.
2. Adanya kerusakan yang cukup berarti pada pelat perkerasan beton akibat masalah keawetan (misalnya, retak “D” atau agregat yang reaktif).
3. Ruang bebas dalam arah vertikal pada suatu jembatan yang tidak memadai.

Bila akan dilakukan pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton yang telah mengalami pelapisan aspal beton sebelumnya, maka penyebab kerusakan sebelumnya harus betul – betul diselidiki.

Jika kondisi perkerasan beton masih dalam keadaan baik, tetapi lapisan aspal yang lamanya mengalami kerusakan alur yang parah atau kerusakan lainnya, maka lapisan aspal lama tersebut harus diperbaiki atau di *milling*.

Akan tetapi jika kerusakan terlihat pada lapisan aspal lama yang merupakan refleksi dari kerusakan pada perkerasan beton dibawahnya, maka perkerasan harus diperbaiki secara full – depth mencakup lapis aspal beton dan lapis perkerasan betonnya. Jika tidak, maka kerusakan akan menjalar ke lapisan permukaan aspal baru di atasnya.

Sangat disarankan melakukan pengujian bor inti (*core drill*) dan pengujian lendutan untuk mengetahui penyebab kerusakan tersebut.

5.3 Perbaikan sebelum pelapisan ulang

Berikut ini kerusakan pada AC / JPCP; AC/JRCP; dan AC/CRCP yang harus diperbaiki dahulu sebelum pelapisan ulang aspal beton yang baru, seperti disajikan pada Tabel 5.1 :

Tabel 5-1 Jenis kerusakan dan perbaikan yang perlu dilakukan sebelum pelapisan ulang

Jenis kerusakan	Jenis perbaikan
Alur	Milling
Retak refleksi	Perbaikan full – depth atau penggantian pelat
Kerusakan perlu perbaikan	Perbaikan full – depth
Punchout	Perbaikan full – depth
Kerusakan setempat hanya pada Aspal beton	Tambalan dengan aspal beton
Kerusakan setempat hanya pada pelat beton	Perbaikan full – depth
<i>Pumping</i>	Drainase tepi
<i>Settlements / heaves</i>	Peninggian permukaan aspal beton, slab jacking (pondongkrakan pelat), atau rekonstruksi lokal

Pada AC/JPCP dan AC/JRCP, retak refleksi dengan tingkat keparahan sedang dan tinggi pada aspal beton merupakan bukti dari *working cracks*, sambungan yang rusak, atau perbaikan yang tidak sempurna pada pelat beton, di mana semua ini harus diperbaiki dengan cara full – depth. Retak refleksi dengan tingkat kerusakan rendah bisa terjadi pada sambungan regular atau pada perbaikan sambungan dengan cara *full –depth*.

Pada AC/CRCP, retak refleksi pada semua tingkatan menunjukkan adanya *working cracks* , kerusakan pada sambungan pelaksanaan, atau kerusakan pada perbaikan pelat beton, semua ini harus diperbaiki.

Pengeboran inti (*coring*) harus dilakukan pada tempat retak refleksi, untuk memperkirakan kondisi perkerasan di bawahnya.

Pengeboran inti harus dilakukan pada area kerusakan setempat, untuk menentukan apakah kerusakan tersebut akibat masalah pada aspal beton atau kerusakan pada pelat betonnya (misal akibat retak “D”). Bila kerusakan terjadi pada pelat betonnya, maka kerusakan tersebut bisa lebih besar dari kerusakan yang tampak pada permukaan aspal beton. Pengeboran tambahan atau pembongkaran tambahan pada lapisan aspal beton, diperlukan untuk menentukan batas kerusakan tersebut. Perbaikan full – depth pada perkerasan AC/PCC harus sesuai dengan kedalaman atau ketebalan pelat tersebut, dan kemudian diberi lapisan aspal beton lagi yang sesuai dengan ketebalan lapis aspal beton yang lama. Perbaikan full – depth dan penggantian pelat pada AC/JPCP atau AC/JRCP haruslah perkerasan beton, diberi dowel atau diikatkan untuk menyediakan penyaluran beban pada bidang sambungan tersebut. Beberapa agensi telah melakukan perbaikan full – depth aspal beton pada AC/JPCP dengan CP sebelum pelapisan baru dengan aspal beton. Akan tetapi hal ini sering menghasilkan ketidakseragaman setempat pada pelapisan ulang nantinya, adanya celah dekat sambungan dan retak, serta kerusakan yang cepat dari retak refleksi pada batas atau tepi perbaikan tambalan aspal beton.

Perbaikan full – depth pada AC/CRCP hendaknya AC- Perkerasan Beton dan dengan tulangan yang menerus dengan tulangan yang diikatkan atau dilas dengan tulangan yang ada pada perkerasan lamanya, untuk memberikan penyaluran beban pada sambungan dan membentuk pelat yang menerus. Perbaikan dengan full – depth aspal beton jangan dilaksanakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan yang akan dilapisi aspal beton, dan setiap tambalan aspal beton pada perkerasan AC/CRCP harus dibongkar dan diganti dengan aspal beton di atas perkerasan beton menerus dengan tulangan.

Sambungan pelepas tegangan (*pressure relief joint*) hanya diletakkan pada struktur yang tetap, dan tidak pada setiap interval tertentu sepanjang perkerasan tersebut. Terkecuali bila reaktif agregat menyebabkan pemuaian pada pelat. Pada lajur lalu lintas berat, *pressure relief joint* hendaknya direncanakan yang kokoh dengan menggunakan dowel.

5.4 Pengendali retak refleksi

Retak refleksi pada lapisan ulang aspal beton pada AC/JPCP, AC/JRCP, atau AC/CRCP terjadi di atas retak refleksi pada lapisan aspal beton yang pertama, dan mungkin juga terjadi di atas perbaikan baru. Mekanisme retak refleksi ialah konsentrasi tegangan pada lapisan ulang akibat pergerakan pada sekitar sambungan dan retak pada perkerasan lama. Pergerakan ini mungkin lentur atau geser akibat beban, atau mungkin juga penyusutan horizontal akibat perubahan temperatur. Pergerakan akibat beban dipengaruhi oleh tebal dan kekakuan lapisan aspal beton, tebal perkerasan beton, tingkat penyaluran beban pada sambungan dan retak, serta kehilangan daya dukung di bawah pelat beton perkerasan kaku. Pergerakan akibat temperatur dipengaruhi oleh variasi temperatur harian dan musiman, koefisien pemuaian termal lapisan perkerasan lama, serta lebar celah pada sambungan dan retakan.

Perbaikan sebelum pelapisan ulang, termasuk pelapisan perbaikan full – depth, perbaikan subdrain, sub sealing paling efektif untuk mengontrol retak refleksi dan kerusakan yang terjadi pada lapisan ulang aspal yang ke dua dari AC/JPCP atau AC/JRCP. Pemberian penanganan retak refleksi tambahan bisa juga dilaksanakan, diantaranya :

1. **Memasang synthetic fabric atau *stress absorbing interlayer*** atau lapisan granular yang distabilisasi aspal sebelum atau dikombinasikan dengan pelapisan ulang aspal beton.
2. **Menggergaji dan menutup sambungan pada lapisan aspal beton di lokasi yang sama dengan retak refleksi dan batas batas perbaikan pada AC/JPCP atau AC/JRCP.** Teknik ini telah digunakan dan berhasil ketika dilaksanakan pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton bersambung, bilamana penggergajian sesuai dengan sambungan atau retak yang lurus pada daerah yang masih dalam satu inchi.
3. **Mempertebal lapisan ulang aspal beton.** Retak refleksi akan memakan waktu lebih lama untuk naik melalui lapisan ulang yang lebih tebal serta kerusakan akan berjalan lebih lambat.

Retak refleksi seringkali mempengaruhi umur dari pelapisan ulang aspal beton di atas AC/JPCP atau AC/JRCP. Kerusakan retak refleksi akan menurunkan tingkat pelayanan perkerasan dan juga memerlukan pemeliharaan yang sering, seperti sealing, milling, dan tambalan. Retak refleksi juga memberikan kesempatan air untuk masuk ke konstruksi perkerasan, yang akan mengakibatkan hilangnya ikatan antara aspal dan beton, stripping pada aspal beton, meningkatnya retak “D” atau kerusakan agregat yang reaktif pada perkerasan beton (masalah durability) dan mengakibatkan lemahnya lapisan base dan subbase. Dengan alasan tersebut di atas, retak refleksi harus segera diséal begitu muncul dan diséal ulang secara periodik selama umur pelapisan ulang tersebut. *Sealing* pada retak refleksi dengan tingkat keparahan yang rendah, bisa efektif untuk memperlambat kecepatan kearah tingkat kerusakan medium atau tinggi.

Perbaiki retak refleksi pada perkerasan lama AC/CRCP sebelum pelapisan ulang aspal beton akan memperlambat kecepatan kerusakan retak refleksi pada lapisan yang baru.

Perbaiki subdrain dan subsealing di daerah yang kehilangan daya dukung akan menahan bangkitnya dan timbulnya kerusakan retak refleksi. Penanganan retak refleksi tidak diperlukan pada pelapisan ulang aspal beton di atas perkerasan beton CRCP, kecuali pada sambungan memanjang, dan selama penanganan tersebut untuk memperbaiki daerah yang mengalami kerusakan dan retak.

5.5 Perencanaan Tebal Lapisan Ulang Aspal Beton

Bilamana pelapisan ulang tersebut untuk tujuan memperbaiki sifat fungsional saja seperti kerataan ataupun kekesatan jalan, maka tebal minimum untuk keperluan fungsional tersebut yang harus dilakukan.

Tetapi jika pelapisan ulang tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan perkerasan tersebut, maka ketebalan tersebut harus bisa melayani kebutuhan pelayanan lalu lintas selama umur rencana yang diinginkan. Tebal perkerasan tambahan yang diperlukan didapat melalui rumus sebagai berikut :

$$D_{ol} = A (D_f - D_{eff}) \dots\dots\dots(\text{persamaan 5-1})$$

Dengan :

D_{ol} = tebal yang diperlukan dari pelapisan ulang aspal beton.

A = Faktor konversi kekurangan tebal pelat beton ke tebal aspal beton

D_f = Tebal pelat untuk melayani lalu lintas kedepan selama umur rencana.

D_{eff} = Tebal efektif, perkerasan beton yang lama

Faktor A , merupakan faktor yang tergantung pada kekurangan tebal, yang diberikan dengan rumus sebagai berikut :

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - D_{eff})^2 - 0,1534 (D_f - D_{eff}) \dots\dots (\text{persamaan 5-2})$$

Selain dengan rumus tersebut, nilai A dapat dicari dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.1

Ketebalan lapisan ulang bisa ditentukan melalui langkah langkah perencanaan berikut ini. Jika tidak memungkinkan melakukan pengujian (misal untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah, perkiraan perencanaan pelapisan ulang bisa dikembangkan berdasarkan observasi pengamatan kerusakan visual, dengan tidak melalui langkah 4 dan 5, serta memperkirakan input lainnya.

Langkah – Langkah Yang Diperlukan Untuk Perencanaan Tebal Ini, ialah :

Langkah 1. Identifikasi Perencanaan dan kondisi perkerasan lama

- 1) Tebal lapisan aspal beton yang sudah ada
- 2) Tebal pelat pada perkerasan lama.
- 3) Tipe penyaluran beban (penyaluran beban mekanis, aggregate interlock, CRCP)
- 4) Tipe bahu jalan (Perkerasan beton yang diikat, lain – lain)

Langkah 2 .Analisa beban lalu lintas

- 1) Perkiraan ESAL di masa datang, pada lajur rencana selama umur rencana (N_f)

Gunakan perhitungan ESAL dari ekivalen beban untuk perkerasan beton.

Langkah 3. Survey kondisi

Survey dilakukan untuk mendapatkan data kerusakan perkerasan. Survey dilakukan pada lajur yang paling berat menerima beban lalu lintas, guna menentukan perkiraan jumlah dan jenis kerusakan tersebut. Tingkat keparahan kerusakan dikategorikan ke dalam sedang dan tinggi.

AC/ JPCP atau AC/ JRCP:

Jumlah kerusakan retak refleksi per mile

- 1) Jumlah kerusakan sambungan melintang per mile
- 2) Jumlah tambalan *full – depth* aspal beton, dan sambungan muai per mile (kecuali pada jembatan).
- 3) Keberadaan pumping dari material halus atau air pada retak dan tepi perkerasan
- 4) Kedalaman alur rata - rata
- 5) Jumlah kerusakan setempat

AC/ CRCP

- 1) Jumlah puch out yang tidak diperbaiki per mile
- 2) Jumlah kerusakan retak melintang yang tidak diperbaiki per mile
- 3) Jumlah kerusakan yang tidak di perbaiki pada perkerasan lama dan perbaikan *full – depth* per mile
- 4) Keberadaan pumping dari material halus atau air pada retak dan tepi perkerasan
- 5) Kedalaman alur rata rata

Langkah 4. Pengujian lendutan

Pengujian cekung lendutan sepanjang proyek dengan interval yang umum antara 100 sampai 1000 feet. Pengukuran lendutan dengan sensor yang dipasang pada 0; 12; 24, dan 36 inchi dari pusat beban, di mana pengukuran dilakukan pada jejak roda luar dengan beban yang disarankan 9000 pounds. Bilamana alur pada perkerasan akan menyebabkan ketidaksempurnaan pada penempatan pelat, maka cekung lendutan diukur di antara jejak roda. Metoda uji ASTM D 4694 dan D 4695 memberikan pedoman tambahan pada pengukuran lendutan.

- (1) **Temperatur aspal beton.** Temperatur aspal beton selama pengujian harus diukur. Ini bisa dilakukan dengan membuat lobang (melakukan pengeboran) secara langsung pada permukaan aspal beton, memasukan cairan dan batang thermometer, serta dibaca temperatur aspal beton ketika sudah stabil. Hal ini harus dilakukan paling sedikit tiga kali pada setiap hari pengujian, sehingga bisa dibuat kurva antara temperatur aspal beton terhadap waktu, dan bisa digunakan untuk perhitungan pada cekung lendutan.

Bilamana tidak bisa didapat pengukuran temperatur perkerasan secara langsung, hal itu bisa diperkirakan dari korelasi dengan temperatur permukaan dan temperatur udara. Temperatur permukaan perkerasan bisa dimonitor selama pengujian lendutan dengan menggunakan alat *infra-red*. Tempertaur udara rata – rata selama lima hari sebelum pengujian lendutan, akan merupakan input untuk menentukan temperature perkerasan.

- (2) **Modulus elastisitas aspal beton.** Modulus lapisan aspal beton harus ditentukan dari masing – masing pengukuran cekung lendutan. Ada dua metoda untuk menentukan modulus aspal beton, E_{ac}
- (3) **Estimasi E_{ac} dari temperature aspal beton.** Modulus elastisitas lapisan aspal beton bisa diperkirakan dari sifat campuran aspal betonnya dan temperatur aspal beton pada waktu pengujian cekung lendutan, menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \log E_{ac} = & 5.553833 + 0.028829 \left(\frac{P_{200}}{P_{0.17083}} \right) - 0.03476V_v + 0.07377 \ln_{70^\circ F, 10^6} \\ & + 0.000005 t_p^{(1.92544)} \mu_{ac}^{0.5} - \frac{0.00189}{F^{11}} t_p^{(1.92544)} \mu_{ac}^{0.5} + 0.93175 \left(\frac{1}{F^{0.02774}} \right) \end{aligned}$$

.....(persamaan 5-3)

- E_{ac} = Modulus elastisitas aspal beton; (psi)
 P_{200} = Persen agregat lolos # 200
 F = frekuensi beban , (Hz)
 V_v = rongga udara; (%)
 $\mu_{70^\circ F, 10^6}$ = absolute viskositas pada 70 °F, 10⁶ poise (mis: 1 untuk AC -10; 2 untuk AC – 20)
 P_{ac} = kadar aspal, persen terhadap berat total campuran
 t_p = temperatur aspal beton (mix), (°F)

Persamaan antara modulus aspal beton (E_{ac}) dan temperatur aspal beton untuk frekuensi beban tertentu, bisa disederhanakan (misalnya; frekuensi beban 18 Hz untuk pembebanan FWD antara 25 sampai 30 mili second) dengan menganggap parameter nilai campuran aspal beton dengan nilai tipikalnya, seperti P_{ac} , V_v , P_{200} dan μ . Sebagai contoh, campuran beraspal dari suatu daerah mempunyai nilai tipikal sebagai berikut :

- P_{200} = 4 persen
 V_v = 5 persen
 $\mu_{70^\circ F, 10^6}$ = 2 untuk AC - 20
 P_{ac} = 5 persen

Untuk nilai - nilai tersebut dan frekuensi beban FWD 18 Hz, persamaan untuk modulus elastisitas aspal beton E_{ac} terhadap temperatur aspal beton menjadi :

$$\log E_{ac} = 6,451235 - 0,000164671 t_p^{1,92544} \dots\dots\dots (persamaan 5-4)$$

Perlu dicatat, bahwa persamaan modulus aspal beton sebagai fungsi parameter campuran dan temperatur berlaku untuk campuran yang baru. Aspal beton yang telah dihampar lama mungkin mempunyai modulus yang lebih tinggi (karena aspal mengalami aging) atau lebih rendah (akibat kerusakan pada aspal beton, misal stripping atau kasus lainnya)

Pengujian resilien modulus dari aspal beton hasil coring di lapangan, bisa digunakan untuk menentukan hubungan antara modulus aspal beton dan temperatur. Hubungan ini bisa dipergunakan untuk menentukan modulus aspal beton dari masing – masing cekung lendutan pada saat waktu dan temperature pengujian dilakukan.

(4) Nilai “k” efektif dinamis di bawah pelat beton. Hitung kompresi yang terjadi pada aspal beton dibawah pelat beban, dengan menggunakan persamaan berikut :

AC,lapisan PCC bonded

$$d_0 \text{ compress} = - 0,0000328 + 121,5006 * \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right)^{1,0798} \dots\dots\dots \text{(persamaan 5-5)}$$

AC,lapisan PCC unbonded

$$d_0 \text{ compress} = - 0,00002133 + 38.6872 * \left(\frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right)^{0,94551} \dots\dots\dots \text{(persamaan 5-6)}$$

dengan

- $d_0 \text{ compress}$ = Kompresi lapisan aspal beton di bawah pelat beban, inchi
- D_{ac} = Tebal aspal beton, inchi
- E_{ac} = Modulus aspal beton, psi

Kondisi *interface* tidak dapat diketahui pasti, tetapi pada lapisan aspal beton dengan beton ikatan tersebut baik, namun sesudah beberapa waktu kekuatan ikatan tersebut tidak dapat diketahui secara pasti. Hal yang dapat dilakukan, ialah melakukan pengambilan contoh inti (*coring*) untuk mengetahui kekuatan ikatan tersebut. Sekiranya coring tidak dilakukan maka pihak perencana harus melakukan taksiran pada kekuatan ikatan antara lapisan aspal beton dengan pelat beton tersebut.

Dengan menggunakan persamaan di atas, d_0 pada pelat pada sistim perkerasan AC/PCC ditentukan dengan mengurangkan besar $d_0 \text{ compress}$ yang terjadi pada permukaan aspal beton dari d_0 yang diukur pada permukaan aspal beton. Selanjutnya hitung AREA pada pelat beton PCC untuk masing – masing cekung lendutan dengan persamaan sebagai berikut :

$$AREA_{pcc} = 6 * \left[1 + 2 \left(\frac{d_{12}}{d_{0pcc}} \right) + 2 \left(\frac{d_{24}}{d_{0pcc}} \right) + \left(\frac{d_{36}}{d_{0pcc}} \right) \right] \dots\dots\dots \text{(persamaan 5-7)}$$

Dengan :

d_{0pcc} = lendutan PCC pada pusat beban, inchi (lendutan permukaan d_0 dikurangi d_0 compress)

d_i = lendutan pada 12; 24 dan 36 inci dari pusat beban, inci.

Data data tersebut dimasukkan pada Gambar 4.2 untuk menentukan “k” dinamis efektif di bawah pelat untuk pelat beban dengan jari – jari 5,9 inci dan beban sebesar 9000 pounds. Untuk beban sekitar 2000 pound, lendutannya bisa secara linier dikorelasikan terhadap lendutan dengan beban 9000 pound.

(5) “k” efektif statis

Nilai “k” efektif statis = nilai “k” efektif dinamis/2

Nilai “k” efektif statis mungkin perlu penyesuaian, akibat pengaruh musim. Walaupun perubahan nilai “k” cukup besar, namun pengaruhnya kecil pada tebal pelapisan ulang.

(6) Modulus elastisitas pelat beton (E)

Dengan menggunakan Gambar 4.3 masukkan nilai AREA pcc dari permukaan pelat beton dan nilai “k” maka akan didapat ED^3 , di mana D menunjukkan ketebalan pelat , inci. Dari sini didapat nilai E yang umumnya berkisar antara 3 – 8 juta psi. Bila nilai E di luar kisaran tersebut, kesalahan mungkin terjadi pada penentuan tebal pelat, pengukuran cekung lendutan yang melalui retak atau tingkat kerusakan perkerasan beton yang sudah cukup parah. Jangan menggunakan data yang nilainya jauh dari nilai umum yang ada.

- (7) **Penyalur beban di sambungan.** Pada AC/JPCP dan AC/JRCP pengukuran penyaluran beban pada jejak roda luar atau antara jejak roda bila terjadi alur yang besar pada permukaan AC) pada retak refleksi di atas sambungan perkerasan beton. Jangan melakukan pengukuran penyaluran beban bila temperatur lebih dari 80 °F (28 °C). Letakkan pelat beban pada satu sisi perkerasan di mana tepi pelat menyentuh sambungan. Ukur lendutan di bawah pusat beban dan

pada jarak 12 inci dari pusat beban. Hitung lendutan penyaluran beban dengan persamaan berikut:

$$\Delta_{LT} = 100 * \left(\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l} \right) * B \dots\dots\dots (persamaan 5-8)$$

Dengan :

- Δ_{LT} = lendutan penyalur beban, persen
- Δ_{ul} = lendutan pada sisi yang tidak dibebani
- Δ_l = lendutan pada sisi yang dibebani
- B = koreksi lendutan pelat dan koreksi compresi pada aspal beton (AC)

Koreksi lendutan pelat dan koreksi kompresi pada aspal beton (AC), B, merupakan hal yang penting sebab lendutan pada d0 dan d12 , diukur pada jarak 12 inci, yang tidak akan sama walaupun diukur pada bagian dalam pelat. Nilai faktor koreksi, bisa ditentukan dari perbandingan d0 terhadap d12 pada pengukuran lendutan di tengah pelat, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

$$B = \frac{d0 \text{ tengah pelat}}{d12 \text{ tengah pelat}} \dots\dots\dots (persamaan 5-9)$$

Untuk AC/JPCP dan AC/JRCP, perhitungan J, koefisien penyaluran beban berdasarkan pedoman berikut :

Persen penyalur beban	J
>70	3,2
50 – 70	3,5
< 50	4,0

Jika pada rehabilitasi tersebut, akan termasuk penggunaan bahu beton yang diikatkan, maka disarankan pemilihan nilai “J” yang lebih kecil.

Untuk AC/CRCP, gunakan nilai J = 2,2 sampai 2,6 untuk pelapisan ulang, dengan anggapan retak yang berat (working crack) diperbaiki dengan perkerasan beton menerus dengan tulangan yang dilapis dengan aspal beton (AC).

Langkah 5. Pengambilan benda uji (*coring*) dan pengujian material (sangat disarankan).

(1) Modulus lapis aspal beton (AC), Pengujian laboratorium terhadap contoh aspal beton hasil coring, ialah pengujian modulus elastisitas lapis permukaan aspal beton tersebut. Hal ini bisa dilakukan dengan menggunakan pengujian kuat tarik tidak langsung – dengan beban berulang (ASTM D 4123). Pengujian harus dilakukan pada dua atau lebih temperatur yang berbeda, untuk menentukan titik – titik pada kurva log E_{AC} terhadap temperatur.

Sebagai contoh, E_{ac} pada 70 °F dan 90 °F bisa digunakan untuk menentukan nilai E_{ac} pada temperature lainnya dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\text{Log } E_{ac \text{ t } ^\circ F} = \left(\frac{\log E_{ac 70 F} - \log E_{ac 90 F}}{70 - 90} \right) * (t F - 70 F) + \log E_{ac 70 F}$$

..... (persamaan 5-10)

Untuk menginterpretasikan data dari pengujian lapangan tanpa merusak NDT (nilai modulus AC dari hasil pengujian laboratorium), harus disesuaikan untuk memperhitungkan perbedaan frekuensi pembebanan pada saat pengujian (umumnya 1 – 2 Hz) dan frekuensi pengujian lendutan bisanya 18 Hz untuk FWD. Penyesuaian dibuat dengan mengalikan nilai E_{ac} laboratorium dengan konstanta yang didapat dari pengujian laboratorium pada temperatur tertentu melalui persamaan yang ditampilkan pada butir 5.5 yaitu modulus AC tergantung pada parameter campuran dan temperatur. Modulus E_{ac} lapangan bisanya 2 sampai 2,5 kali lebih besar dari modulus laboratorium.

Disarankan agensi sendiri mempunyai korelasi antara resilient modulus dengan kuat tarik tidak langsung untuk jenis aspal beton tertentu.

(2) Modulus rupture dari pelat beton (*S'c*). Lakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dari benda uji yang diambil dari bagian tengah pelat sesuai ASTM C 496. Hitung *modulus of rupture* beton dengan persamaan berikut :

$$S'c = 210 + 1.02 \text{ IT} \text{ (persamaan 5-11)}$$

Dengan :

S_c = modulus rupture, psi

IT = kuat tarik tidak langsung dari benda uji dengan diameter 6 inci, psi

Nilai S_c bisa didapat dari persamaan yang berdasarkan pada E , modulus beton.

Langkah 6. Penentuan tebal yang diperlukan untuk melayani lalu lintas mendatang (D_f).

Input untuk menentukan D_f aspal beton pada pelapisan ulang pada perkerasan AC/PCC ialah kondisi pelat dan lapisan pondasinya.

Parameter yang diperlukan, ialah :

- 1) Nilai “ k ” statis efektif dibawah perkerasan lama, yang bisa ditentukan dari salah satu metoda di bawah ini:
 - (a) Perhitungan balik nilai “ k ” dinamis dari cekung lendutan seperti yang diuraikan pada butir 5.5 (langkah 4). Hitung nilai “ k ” statis dengan membagi nilai “ k ” dinamis oleh angka 2. Nilai “ k ” statis efektif perlu disesuaikan terhadap pengaruh musim .
 - (b) Melakukan pengujian “plate loading” sesuai ASTM D1196, setelah pelatnya pada beberapa tempat tertentu diangkat . Metoda ini memakan waktu yang lama dan biaya yang besar serta jarang dipergunakan. Nilai “ k ” statis efektif perlu disesuaikan terhadap pengaruh iklim.
 - (c) Perkiraan dari nilai kekuatan tanah dan tipe serta tebal pondasi, menggunakan Gambar 4.2. Metoda ini sederhana, tetapi nilai “ k ” perlu disesuaikan terhadap pengaruh iklim, dan memberikan nilai yang cukup kasar.
- 2) Penurunan PSI rencana. Nilai PSI sesaat setelah pelapisan ulang (P_1) dikurangi nilai PSI pada saat rehabilitasi berikutnya (P_2).
- 3) J , koefisien penyaluran beban pada pelat beton yang sudah ada. Lihat butir 3.3.4
- 4) *Modulus of rupture* dari pelat beton, ditentukan dengan salah satu metoda berikut:

- (a) Perkiraan dari nilai Indirect Tensile Strength (contoh dengan diameter 6" seperti diuraikan pada langkah 5.
- (b) Pada AC/JPCP dan AC/JRCP , perkiraan dari nilai modulus pelat, yang dihitung sesuai uraian pada butir 3.3.6 (langkah 2).

Pergunakan rumus berikut :

$$S'c = 43,5 (10^{-6} E) + 488,5$$

Dengan

$S'c$ = modulus of rupture , psi

E = Modulus elastic beton dari perhitungan balik (back calculation), psi

Untuk AC/CRCP, perkiraan $S'c$ dari perhitungan balik nilai E tidak disarankan, karena retak yang tidak terefleksi pada lapisan aspal beton yang sudah ada, bisa terjadi pada pelat beton CRCP yang letaknya di dalam cakupan cekung lendutan pada pengukuran lendutan.

- 5) Modulus Elastisitas dari pelat beton , ditentukan dari salah satu metoda berikut :
 - (a) Perhitungan balik (backcalculated) dari pengukuran lendutan, seperti diuraikan pada langkah 4
 - (b) Tentukan dari nilai Indirect Tensile Strength
- 6) Kehilangan daya dukung yang mungkin terjadi setelah rehabilitasi. Prosedur penggunaan lendutan untuk menyelidiki kehilangan daya dukung dibawah pelat AC/PCC belum ada. Untuk perencanaan tebal perkerasan, anggap kehilangan daya dukung $LS = 0$.
- 7) Overlay design Reliability, R (persen).;
- 8) Overall standard deviation, S_0 untuk perkerasan beton , yang berkisar antara 0.30 – 0,40
- 9) Kemampuan drainase bawah tanah dari perkerasan lama, setelah perbaikan subdrain bila ada, penentuan nilai C_d , seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut: Pumping atau faulting pada retak refleksi merupakan suatu bukti bahwa ada masalah subdrain. Dalam

pemilihan nilai Cd , perlu dicatat bahwa kondisi yang jelek pada subdrain dalam AASHTO diberi nilai Cd = 1.0

Tabel 5-2 Koefisien drainase Cd, untuk perkerasan kaku

	Prosentase waktu di mana struktur perkerasan mengalami tingkat kadar air yang hamplr mendekati jenuh			
Kualitas Drainase	Lebih kecildari 1%	1 – 5%	5 -25 %	Lebih besar dari 25%
Sangat baik	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Baik	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Sedang	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Jelek	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Sangat Jelek	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

- 10) Hitung Df dengan nilai parameter perencanaan di atas yang menggunakan persamaan perencanaan perkerasan beton atau nomograph, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 . Bila ada nilai di luar kewajaran, sebagaimana batasan yang dicantumkan pada Tabel 4.2 tersebut, hendaknya dipergunakan dengan penuh kehati – hatian.

Langkah 7. Penentuan tebal pelat efektif (D_{eff}) dari perkerasan lama

Metoda survey kondisi untuk perkersan AC/PCC dalam rangka penentuan D_{eff}, disajikan pada perkersan AC/PCC. Tebal D_{eff} dihitung dengan persamaan berikut:

$$D_{eff} = (D_{pcc} * F_{jc} * F_{dur}) + [(\frac{D_{ac}}{2}) * F_{ac}] \dots\dots\dots (persamaan 5-12)$$

Dengan :
D_{pcc} = tebal pelat beton perkerasan lama
D_{ac} = tebal lapisan aspal beton

- (1) Faktor koreksi sambungan dan retak (P_{jc}). Ini merupakan faktor koreksi terhadap kehilangan tambahan (extra loss) pada PSI yang disebabkan oleh kerusakan retak refleksi yang akan terjadi pada lapisan ulang akibat retak refleksi yang tidak diperbaiki dan kerusakan lainnya yang berupa discontinuity pada perkerasan

AC/PCC sebelum di lapis ulang. Kerusakan berupa retak refleksi pada perkerasan lama AC/PCC akan cepat naik kelapisan di atasnya dan memberikan kontribusi terhadap penurunan tingkat pelayanan. Karena itu, sangat disarankan semua kerusakan retak refleksi dan setiap diskontinuitas yang besar pada perkerasan lama harus diperbaiki dengan cara “full – depth” dengan menggunakan dowel atau batang pengikat pada perkerasan beton sebelum pelapisan ulang dilakukan, sehingga $F_{jc} = 1,0$

Bila tidak mungkin memperbaiki semua kerusakan yang ada, berikut ini data yang diperlukan untuk menentukan F_{jc} , guna menaikkan tebal pelapisan ulang dalam memperhitungkan kehilangan PSI extra, akibat kerusakan retak refleksi.:

- Jumlah kerusakan retak yang tidak diperbaiki/ mil
- Jumlah kerusakan puchout/ mil
- Jumlah sambungan muai (expansion joint), kecuali sambungan lebar (> 1 inci) , serta full depth, tambalan AC selebar lajur penuh / mil

Jumlah total dari kerusakan retak refleksi, puchout, serta kerusakan diskontinuitas yang tidak diperbaiki per mil digunakan untuk menentukan F_{jc} dari Gambar 3.6

- (2) Faktor Penyesuaian Durability (F_{dur}). Faktor ini untuk menyesuaikan penambahan kehilangan PSI pada pelapisan ulang, bila pelat yang lama mempunyai masalah durability seperti retak “D” atau kerusakan akibat agregat yang reaktif. Dengan menggunakan catatan yang sebelumnya serta data kondisi dari butir 3.4.4 F_{dur} ditentukan berdasarkan ketentuan dibawah ini:

1,00	Tidak ada masalah durabilitas pada Perkerasan beton
0,96 – 0,99	Diketahui ada masalah durabilitas pada perkerasan, tetapi tidak ada kerusakan setempat atau kerusakan lainnya yang terlihat

0,88 – 0,95	Terlihat pada permukaan ada kerusakan akibat durabilitas (kerusakan setempat).
0,80 – 0,88	Kerusakan durabilitas sangat banyak (mis kerusakan setempat), yang terlihat pada permukaan perkerasan.

- (3) Faktor penyesuaian kualitas aspal beton Fac. Faktor ini mengoreksi kontribusi lapisan aspal beton yang sudah ada terhadap Deff berdasarkan kualitas aspal beton tersebut. Nilai ini dipilih hanya tergantung pada kerusakan yang ada pada lapisan aspal beton saja (tidak termasuk retak refleksi) yang tidak akan hilang oleh milling permukaan aspal, seperti alur, stripping, shoving serta pelapukan dan raveling jika permukaan tidak di milling. Pertimbangan harus ditujukan terhadap penggarukan total untuk aspal beton dengan kualitas yang sangat jelek.

1,00	Tidak ada masalah kerusakan pada aspal beton
0,96 – 0,99	Diketahui ada sedikit masalah kerusakan pada aspal beton (pelapukan, raveling) yang tidak dikoreksi oleh milling di permukaan.
0,88 – 0,95	Terlihat pada permukaan ada kerusakan yang signifikan (alur, stripping, shoving).
0,80 – 0,88	Kerusakan yang sangat banyak pada lapisan aspal beton durabilitas sangat banyak (alur, stripping, shoving).

Langkah 8. Penentuan Tebal pelapisan ulang.

Tebal lapisan aspal beton dihitung dengan persamaan berikut :

$$Dol = A (Df - Deff) \dots\dots\dots (persamaan 5-13)$$

Dengan :

- Dol = ketebalan pelapisan aspal beton yang diperlukan
- A = faktor untuk mengkonversi kekurangan tebal lapisan beton terhadap ketebalan aspal beton
- Df = tebal pelat yang ditentukan, sesuai perhitungan pada butir 3.3.6 langkah 7 (inci).

Deff = tebal efektif dari pelat yang ada sesuai perhitungan pada butir 3.4.4, inci

Faktor A, merupakan fungsi dari kekurangan tebal pelat, sesuai persamaan berikut yang juga diilustrasikan pada Gambar 3.7

$$A = 2,2233 + 0,0099 (D_f - Deff)^2 - 0,1534 (D_f - Deff) \dots\dots \text{(persamaan 5-14)}$$

Hasil perhitungan pelapisan ulang ini harus cukup wajar sesuai dengan kekurangan kekuatan struktural perkerasan, tetapi bilamana hasilnya kurang wajar, perlu dilakukan peninjauan kembali .



6

HUBUNGAN MODULUS HASIL PENGUJIAN FWD DAN DARI HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM BERDASARKAN KUAT TEKAN

Pengujian lapangan telah dilakukan pada beberapa tempat di jalan raya Sumedang – Cirebon, serta jalan raya lingkaran Karawang. Pengujian yang dilakukan meliputi penilaian kondisi, pengukuran kekuatan struktur perkerasan dengan alat FWD, pengambilan contoh benda uji dengan *core drill* serta pengujian laboratorium tentang kekuatan beton hasil core di lapangan.

Gambar pengukuran perkerasan beton dengan menggunakan alat FWD disajikan pada Gambar 6.1 dan 6.2



Gambar 6-1 Alat pengukur FWD



Gambar 6-2 Pengukuran lendutan pada sambungan melintang pelat beton

➤ Hasil Pengujian Lapangan Lokasi Karawang

Hasil pengujian lapangan Falling Weight Deflectometer (FWD) untuk ruas Karawang, Lingkar Karawang arah Jakarta diperlihatkan pada Tabel 6.1, Tabel 6.2 dan Nilai AREA pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2

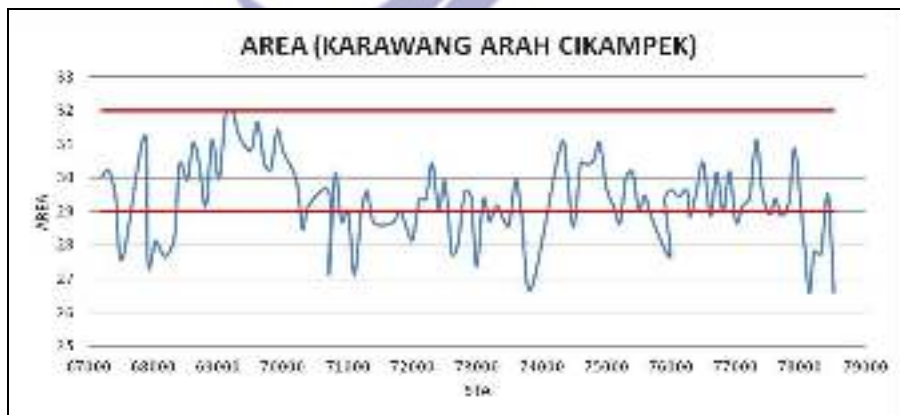
Tabel 6-1 Nilai FWD (Karawang Arah Cikampek)

[illegible]

Tabel 6-2 Nilai FWD (Karawang Arah Jakarta)

StationID	DropID	History	Stress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	3	TRUE	575,00	40,93	70,50	65,40	61,80	55,40	49,50	41,40	34,30	29,20	24,50
2	0	TRUE	575,00	40,67	85,00	77,00	73,40	60,90	63,10	53,50	43,80	30,30	29,90
3	9	TRUE	572,00	40,40	63,20	61,50	59,20	54,00	50,40	44,00	30,70	31,80	27,00
4	12	TRUE	573,00	40,52	69,20	61,20	57,70	50,90	45,80	37,00	30,40	24,60	21,70
5	15	TRUE	573,00	40,47	77,10	69,80	65,50	58,40	52,30	40,00	30,60	22,80	18,70
6	18	TRUE	577,00	40,77	104,70	101,10	98,10	91,70	85,50	72,80	61,00	49,20	40,00
7	21	TRUE	573,00	40,50	97,00	90,20	87,20	81,50	75,00	61,00	52,60	40,90	33,70
8	24	TRUE	577,00	40,81	78,50	75,10	72,50	60,70	62,10	51,90	42,70	33,90	28,10
9	27	TRUE	574,00	40,56	81,10	70,50	73,00	67,00	61,50	50,30	40,40	33,40	27,90
10	30	TRUE	573,00	40,80	72,00	69,10	60,00	60,40	50,00	47,00	39,70	33,40	27,90
11	33	TRUE	575,00	40,67	73,10	69,60	60,20	62,20	57,00	48,20	40,70	34,70	28,50
12	36	TRUE	575,00	40,63	87,90	85,80	82,00	74,40	68,00	54,60	43,80	30,60	32,20
13	39	TRUE	579,00	40,91	79,50	77,70	75,60	68,60	65,10	50,10	42,90	35,90	28,80
14	42	TRUE	573,00	40,49	113,40	104,10	100,10	92,10	85,40	70,60	50,70	40,00	30,70
15	45	TRUE	573,00	40,50	101,00	95,00	90,20	81,10	71,80	54,60	42,00	32,60	20,50
16	48	TRUE	577,00	40,81	89,90	84,00	80,50	72,60	60,90	55,80	45,80	37,60	32,60
17	51	TRUE	570,00	40,72	70,50	73,20	70,10	64,20	60,70	49,90	41,70	33,70	28,50
18	54	TRUE	572,00	40,42	110,70	105,80	98,90	84,10	82,70	64,70	51,50	39,40	27,70
19	57	TRUE	572,00	40,43	92,10	85,30	81,50	74,70	69,10	50,90	45,10	30,10	28,30
20	60	TRUE	574,00	40,56	91,40	87,80	84,00	70,60	70,70	57,80	40,60	37,90	31,30
21	63	TRUE	572,00	40,40	82,70	78,20	74,80	69,80	64,10	54,20	43,70	35,60	29,20
22	66	TRUE	572,00	40,45	84,10	80,70	77,70	72,10	68,00	50,60	40,50	37,00	29,90
23	69	TRUE	575,00	40,67	80,20	77,80	74,10	68,20	62,60	51,10	40,10	31,00	24,10
24	72	TRUE	574,00	40,54	72,70	68,70	65,70	61,10	57,20	48,90	41,60	35,00	29,60
25	75	TRUE	575,00	40,63	81,70	77,40	74,00	67,90	62,20	51,70	42,20	34,70	29,20
26	78	TRUE	577,00	40,75	84,00	81,50	77,90	71,50	60,10	54,90	45,50	37,50	31,10
27	81	TRUE	573,00	40,47	127,80	120,90	119,10	109,30	100,20	84,50	67,70	54,10	40,40

Berdasarkan hasil pengujian FWD, selanjutnya dapat dihitung nilai “basin AREA (A)” dengan menggunakan persamaan 3.3. Nilai AREA untuk segmen Karawang arah Cikampek dan Karawang arah Jakarta disajikan pada Gambar 6.3 dan Gambar 6.4.



Gambar 6-3 Grafik Nilai AREA Karawang arah Cikampek



Gambar 6-4 Grafik Nilai AREA Karawang arah Jakarta

Terlihat pada Gambar AREA ada beberapa titik yang nilainya diluar dari nilai umum untuk AREA yang biasanya antara 29 dan 32, terutama untuk lokasi Karawang arah Cikampek.

Berdasarkan data tersebut, selanjutnya dapat dihitung nilai modulus dari tiap titik pengujian, dengan terlebih dahulu mengukur ketebalan lapisan yang didapat dari pengukuran benda uji hasil coring. Pelaksanaan pengambilan contoh benda uji dengan core drill diperlihatkan pada Gambar 6.5 dan Gambar 6.6



Gambar 6-5 Pengambilan benda uji dengan core drill



Gambar 6-6 Contoh benda uji hasil core drill

Nilai modulus pelat beton berdasarkan pengujian dengan FWD dan perhitungannya dapat dilihat pada Gambar 6.7, Gambar 6.8. Disamping hasil pengujian dengan FWD dilakukan juga pengukuran kuat tekan di laboratorium yang selanjutnya dapat dihitung nilai modulus dari beton tersebut dengan menggunakan persamaan :

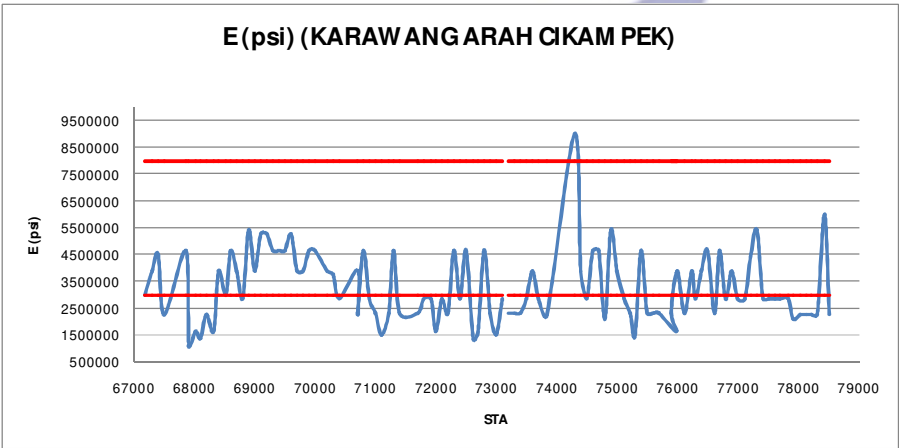
$E_c = 14850 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{) } \dots\dots\dots \text{ (persamaan 6-1)}$

Dengan :

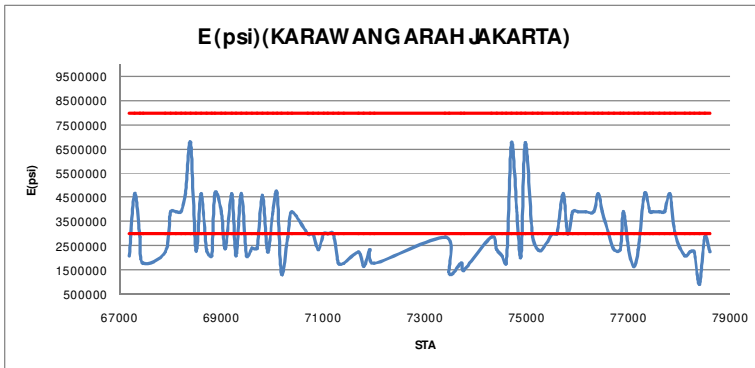
E_c = Modulus elastisitas beton (kg/cm²)

$f'c$ = Kuat tekan beton (silinder; kg/cm²)

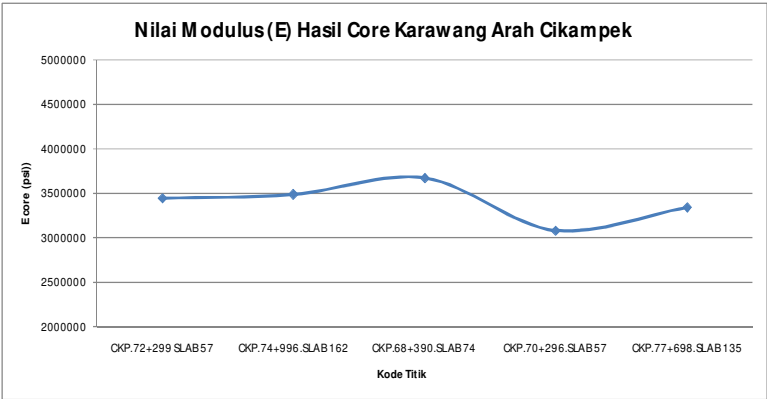
Nilai modulus beton berdasarkan hasil pengujian dari silinder dengan persamaan 6.1 ditunjukkan pada Gambar 6.9 dan Gambar 6.10



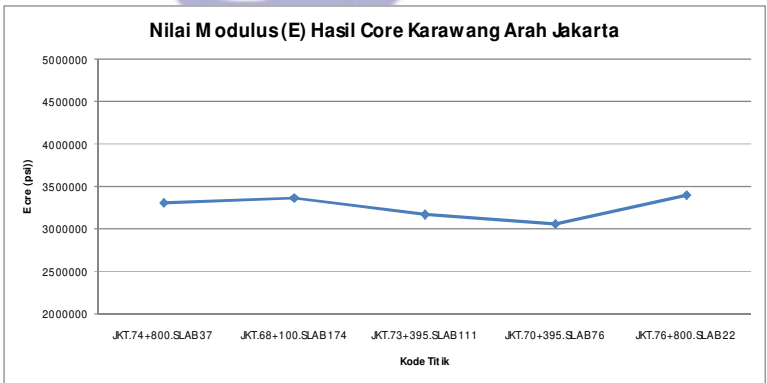
Gambar 6-7 Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Cikampek dari FWD



Gambar 6-8 Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Jakarta dari FWD

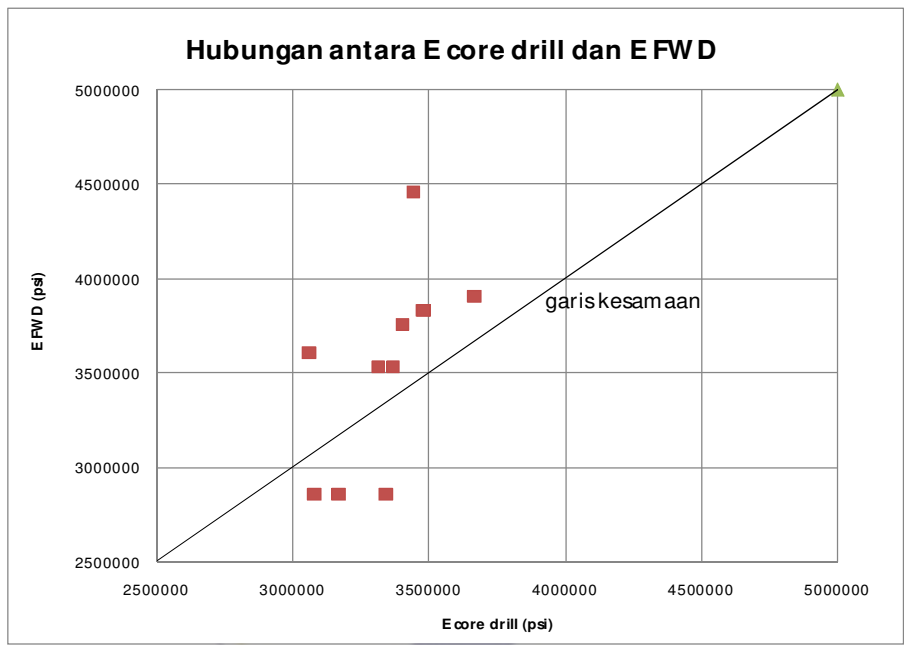


Gambar 6-9 Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Cikampek dari hasil core drill



Gambar 6-10 Grafik Nilai modulus segmen Karawang arah Jakarta dari hasil core drill

Perbandingan antara nilai modulus dari hasil pengujian dengan alat FWD dan dari hasil pengujian kuat tekan di laboratorium yang selanjutnya dievaluasi dengan persamaan 6-2, ditunjukkan pada Gambar 6.11. Terlihat pada Gambar tersebut umumnya nilai modulus dari hasil FWD lebih tinggi sampai dengan 1,29 dari modulus hasil pengujian core. Ada 3 titik di mana nilai modulus hasil FWD lebih kecil dari modulus hasil core.



Gambar 6-11 Grafik perbandingan nilai modulus hasil FWD dengan hasil dari pengujian core drill

➤ **Hasil Pengujian Lapangan di Sumedang**

Begitu juga hal yang sama FWD dilakukan pada ruas-ruas pengukuran di daerah ruas Sumedang–Bandung, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 6.3, Tabel 6.4.

Hasil pengujian lapangan Falling Weight Deflectometer (FWD) untuk segmen Sumedang arah Bandung diperlihatkan pada Tabel 6.3, dan untuk segmen Bandung arah Sumedang diperlihatkan pada Tabel 6.4.

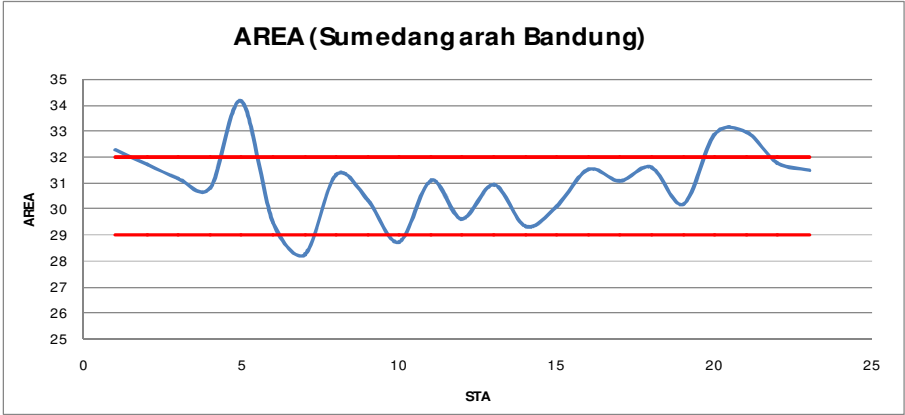
Tabel 6-3 Nilai FWD (Sumedang Arah Bandung)

SationID	DropID	History	Sress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	3	TRUE	592.00	41.81	118.50	117.50	114.30	108.00	102.60	85.10	66.90	51.30	37.30
2	6	TRUE	586.00	41.44	64.70	62.80	60.50	57.40	54.30	47.90	41.30	35.90	30.10
3	9	TRUE	581.00	41.05	119.90	116.70	111.70	104.50	97.70	84.00	68.50	52.70	37.70
4	12	TRUE	590.00	41.73	114.90	109.20	105.10	98.50	92.60	79.80	64.70	54.50	43.30
5	15	TRUE	710.00	50.21	84.70	82.90	81.90	80.20	79.50	74.70	67.50	58.40	47.40
6	18	TRUE	631.00	44.62	114.40	107.30	100.90	92.30	86.10	73.40	62.70	51.70	44.00
7	21	TRUE	619.00	43.72	120.30	110.40	102.80	93.10	84.80	71.00	58.10	48.40	41.90
8	24	TRUE	619.00	43.78	137.30	131.60	127.00	121.90	113.60	97.90	79.90	63.20	46.80
9	27	TRUE	616.00	43.51	128.60	123.80	118.60	110.30	101.30	81.60	62.90	45.50	31.50
10	30	TRUE	584.00	41.27	87.80	80.80	75.90	69.10	64.00	52.90	43.80	35.40	28.60
11	33	TRUE	582.00	41.10	118.90	114.50	110.20	102.10	96.50	83.80	69.10	54.80	42.20
12	36	TRUE	584.00	41.25	275.00	255.70	246.00	224.70	208.00	174.00	141.00	112.20	90.60
13	39	TRUE	626.00	44.24	84.20	80.90	76.60	72.20	68.40	60.20	51.80	45.20	38.50
14	42	TRUE	577.00	40.79	236.80	220.00	207.10	192.80	177.30	151.80	131.80	111.10	83.00
15	45	TRUE	590.00	41.73	117.60	109.10	104.70	98.00	92.10	78.90	66.10	56.30	46.00
16	48	TRUE	582.00	41.10	152.10	143.70	138.70	133.00	126.80	116.10	63.90	52.30	42.50
17	51	TRUE	588.00	41.53	135.80	132.40	127.70	119.40	111.00	90.00	71.50	55.40	42.20
18	54	TRUE	587.00	41.46	120.00	116.90	113.40	106.70	100.10	84.90	70.20	59.20	50.20
19	57	TRUE	584.00	41.27	145.60	139.80	134.10	123.10	115.50	87.90	76.00	65.70	53.90
20	60	TRUE	634.00	44.80	175.10	174.90	170.10	162.00	154.40	135.50	114.90	93.90	74.50
21	63	TRUE	615.00	43.46	193.20	192.80	190.40	178.40	170.50	146.10	122.10	83.90	65.70
22	66	TRUE	637.00	45.03	130.70	129.50	124.40	117.60	110.70	91.20	74.60	61.30	51.50
23	69	TRUE	635.00	44.85	110.80	109.40	104.70	96.90	91.00	78.90	67.80	58.50	49.70

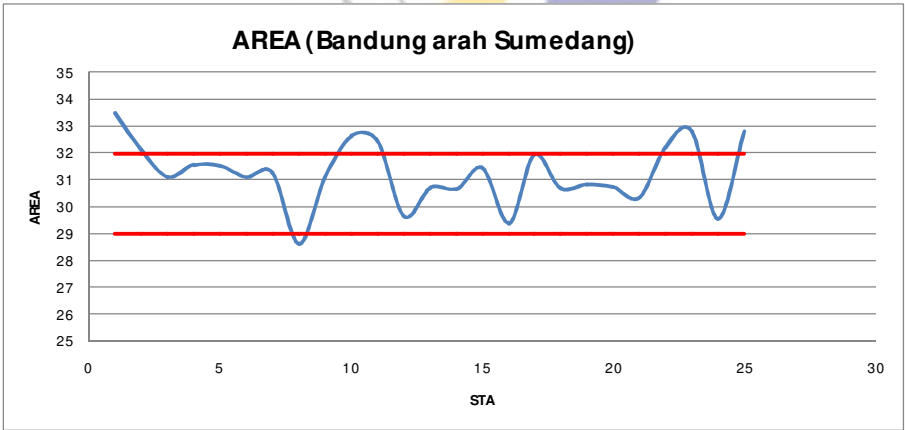
Tabel 6-4 Nilai FWD (Bandung arah Sumedang)

SationID	DropID	History	Sress	Force	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	3	TRUE	577.00	40.75	220.40	222.40	220.90	209.50	198.90	170.60	138.50	107.80	79.40
2	6	TRUE	585.00	41.35	137.90	134.60	130.80	124.20	118.20	102.80	87.30	71.50	55.20
3	9	TRUE	580.00	41.02	151.80	150.00	142.60	129.80	123.30	103.60	87.60	72.80	58.50
4	12	TRUE	578.00	40.86	115.50	118.20	111.00	101.40	95.50	78.80	67.70	55.70	50.40
5	15	TRUE	669.00	47.27	107.50	103.60	99.10	93.20	89.40	80.20	70.40	61.70	56.10
6	18	TRUE	622.00	43.97	121.10	117.60	112.00	104.90	97.70	83.50	69.50	58.60	48.40
7	21	TRUE	616.00	43.54	144.00	138.10	133.70	125.60	118.00	103.00	85.90	70.80	60.10
8	24	TRUE	580.00	41.00	135.20	124.90	117.30	106.50	96.90	81.00	67.00	55.30	43.80
9	27	TRUE	580.00	40.96	147.20	141.50	136.40	127.90	120.20	102.60	84.10	66.60	50.60
10	30	TRUE	592.00	41.87	108.90	106.50	103.60	99.80	96.40	83.40	70.10	59.60	48.00
11	33	TRUE	584.00	41.30	97.30	95.90	92.30	88.80	84.30	75.40	65.70	57.80	49.80
12	36	TRUE	589.00	41.66	135.90	127.10	121.30	112.30	103.70	85.60	68.50	55.00	45.70
13	39	TRUE	583.00	41.20	88.20	81.70	78.80	75.50	71.90	61.80	53.80	47.20	40.10
14	42	TRUE	584.00	41.25	106.60	101.10	97.40	91.40	85.60	72.20	59.30	48.50	38.50
15	45	TRUE	583.00	41.21	101.30	96.70	93.90	90.30	84.40	73.00	63.10	53.20	45.50
16	48	TRUE	584.00	41.28	117.60	109.60	104.50	96.60	88.30	72.70	57.80	48.10	40.00
17	51	TRUE	583.00	41.21	543.10	540.40	519.40	488.60	458.10	392.90	326.70	260.30	188.50
18	54	TRUE	582.00	41.14	144.60	139.80	134.00	123.50	114.50	98.50	84.10	74.80	63.80
19	57	TRUE	583.00	41.23	216.80	205.20	197.20	185.60	175.50	152.40	125.30	100.40	75.80
20	60	TRUE	584.00	41.30	151.30	143.70	137.40	128.20	121.30	106.80	91.80	77.20	60.60
21	63	TRUE	627.00	44.34	189.70	182.60	174.20	160.80	148.50	124.30	101.30	79.40	58.10
22	66	TRUE	623.00	44.06	125.30	122.60	118.50	113.30	107.90	94.80	79.80	64.80	49.60
23	69	TRUE	579.00	40.89	317.10	309.00	299.60	288.60	278.90	260.40	242.20	226.30	209.80
24	72	TRUE	581.00	41.03	276.30	263.30	255.90	235.00	207.70	157.70	114.40	84.90	63.90
25	75	TRUE	583.00	41.20	110.40	109.80	107.60	100.90	96.10	85.50	74.50	63.80	51.80

Berdasarkan hasil pengujian FWD, selanjutnya dapat dihitung nilai “basin AREA (A)” dengan menggunakan persamaan 3.3. Nilai AREA untuk segmen Sumedang arah Bandung dan Bandung arah Sumedang disajikan pada Gambar 6.12 dan Gambar 6.13.



Gambar 6-12 Grafik Nilai AREA Sumedang arah Bandung

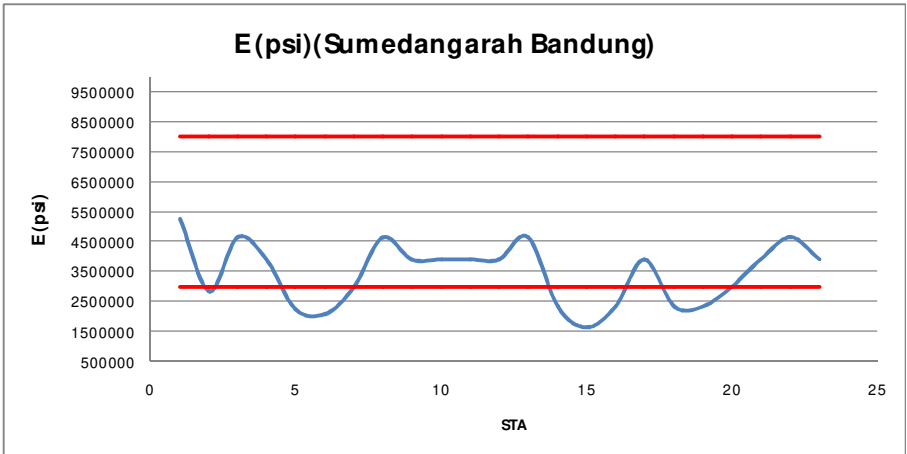


Gambar 6-13 Grafik Nilai AREA Sumedang arah Bandung

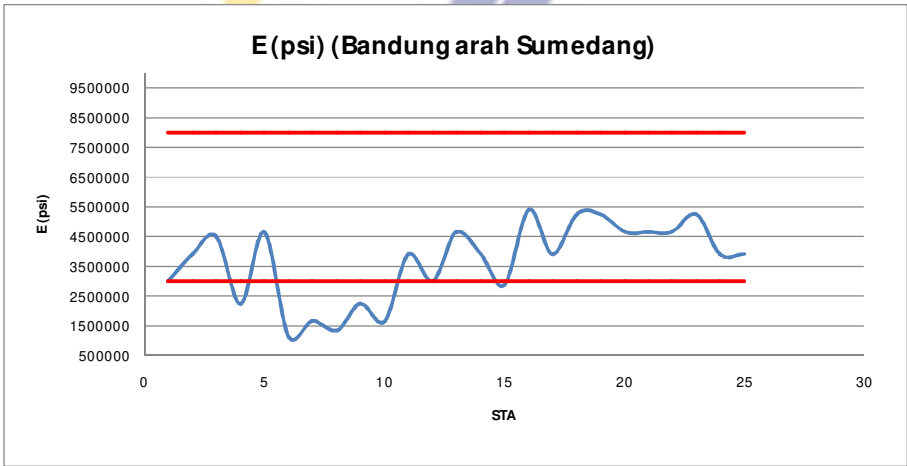
Terlihat pada Gambar AREA ada beberapa titik yang nilainya di luar dari nilai umum untuk AREA yang biasanya antara 29 dan 32, terutama untuk lokasi Sumedang arah Bandung. Tetapi kebanyakan untuk titik yang lainnya memiliki nilai sesuai dengan kondisi umumnya berada antara 29 dan 32.

Nilai modulus pelat beton berdasarkan pengujian dengan FWD dan perhitungannya dapat dilihat pada Gambar 6.14, Gambar 6.15. Disamping hasil pengujian dengan FWD dilakukan juga pengukuran kuat tekan di laboratorium yang selanjutnya dapat dihitung nilai modulus dari beton tersebut dengan menggunakan persamaan 6.1

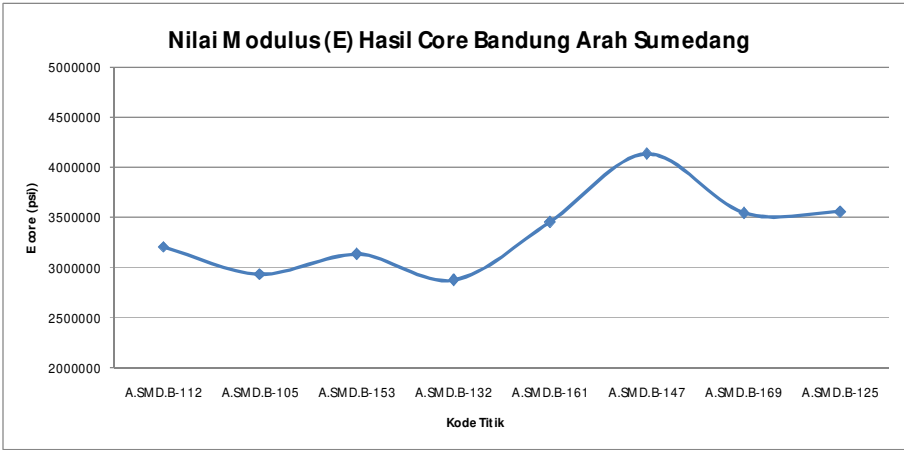
Nilai modulus beton berdasarkan hasil pengujian dari silinder dengan persamaan 6.1 ditunjukkan pada Gambar 6.16 dan Gambar 6.17



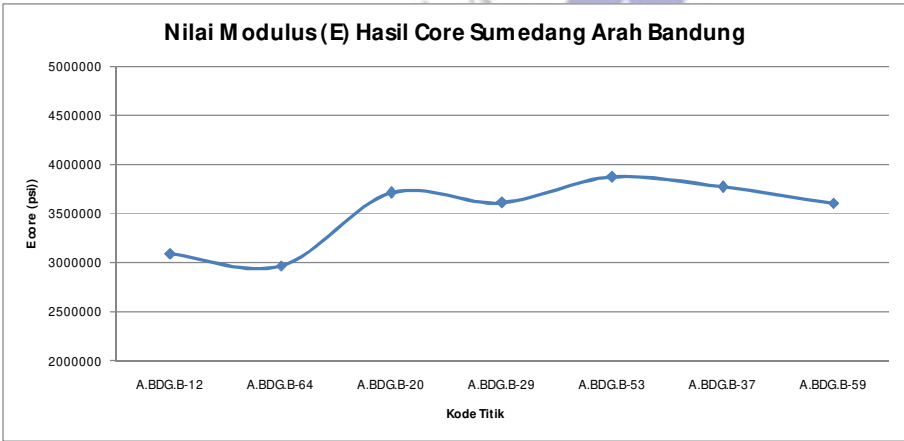
Gambar 6-14 Grafik Nilai modulus segmen Sumedang arah Bandung dari FWD



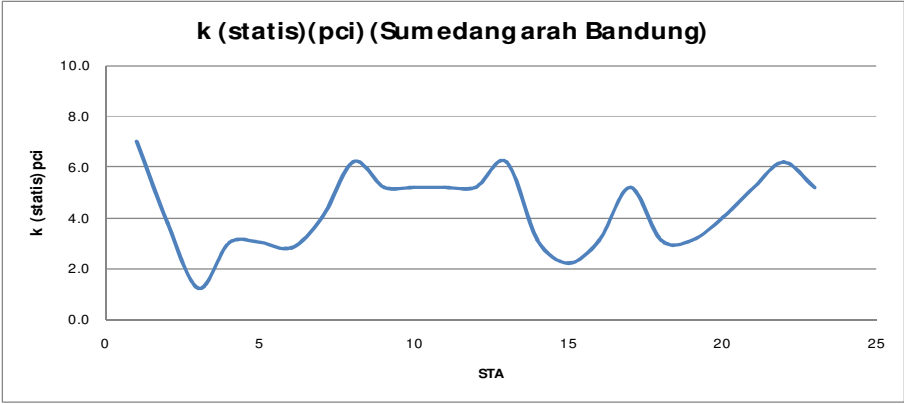
Gambar 6-15 Grafik Nilai modulus segmen Bandung arah Sumedang dari FWD



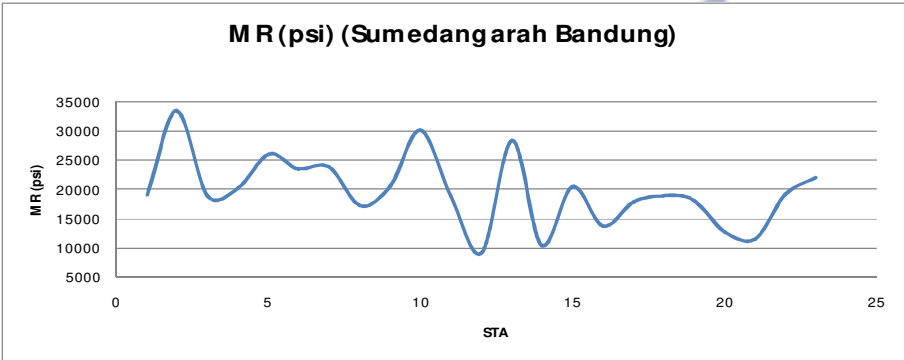
Gambar 6-16 Grafik Nilai modulus segmen Bandung arah Sumedang dari hasil core drill



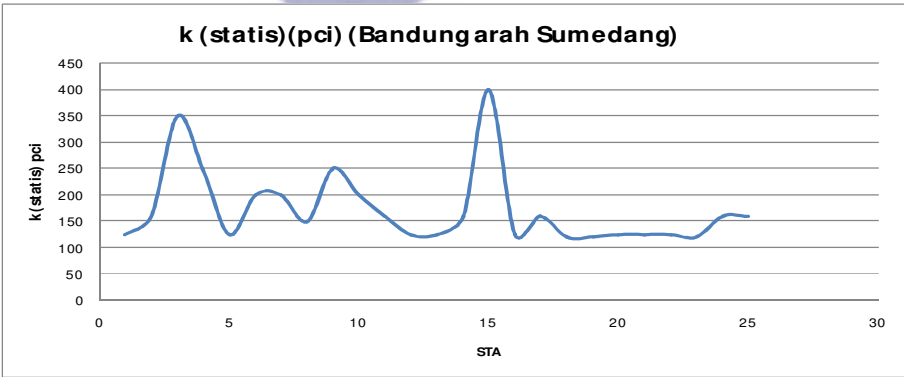
Gambar 6-17 Grafik Nilai modulus segmen Sumedang arah Bandung dari hasil core drill



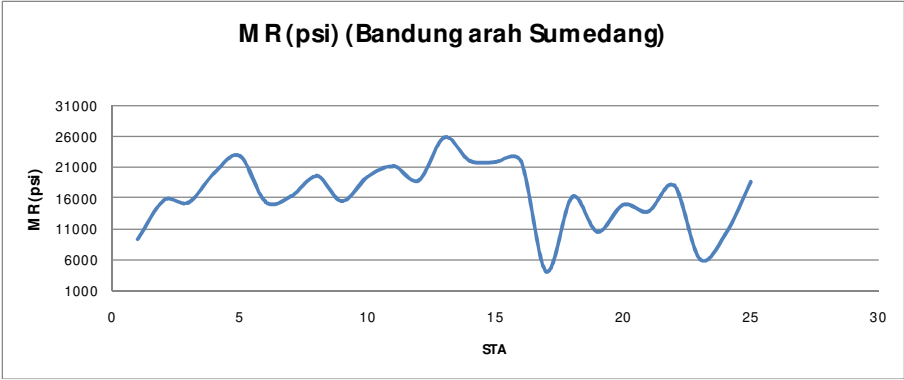
Gambar 6-18 Grafik Nilai k (statis) segmen Sumedang arah Bandung



Gambar 6-19 Grafik Nilai $M R$ (psi) segmen Sumedang arah Bandung

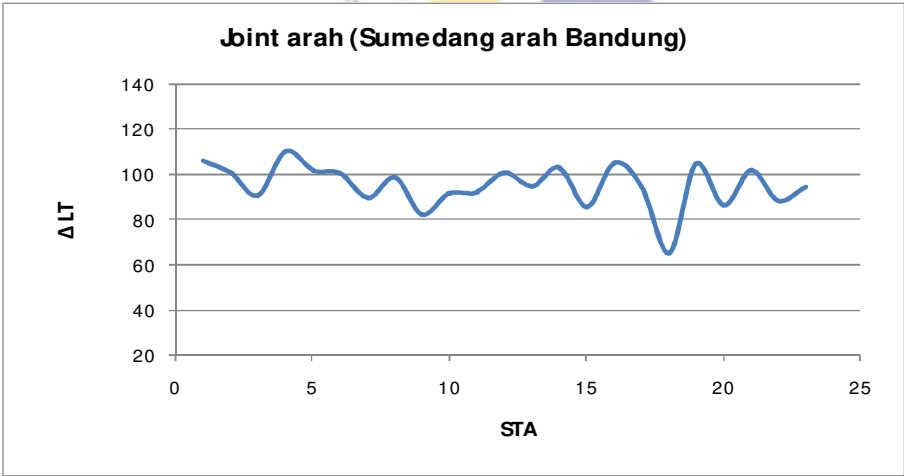


Gambar 6-20 Grafik Nilai k (statis) Segmen Bandung arah Sumedang

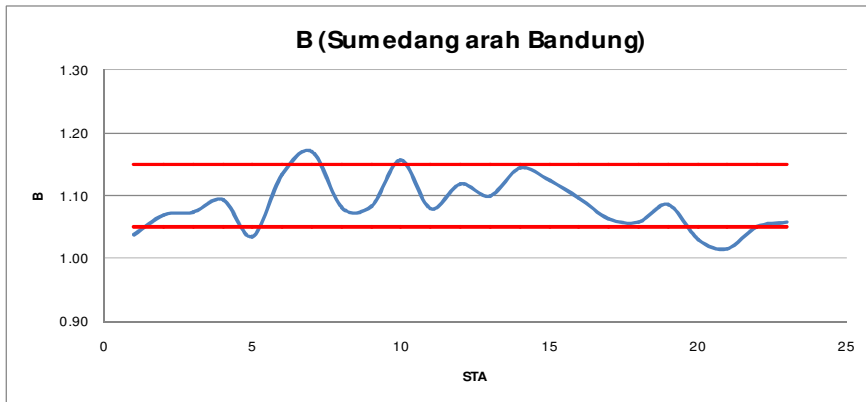


Gambar 6-21 Grafik Nilai MR (psi) segmen Bandung arah Sumedang

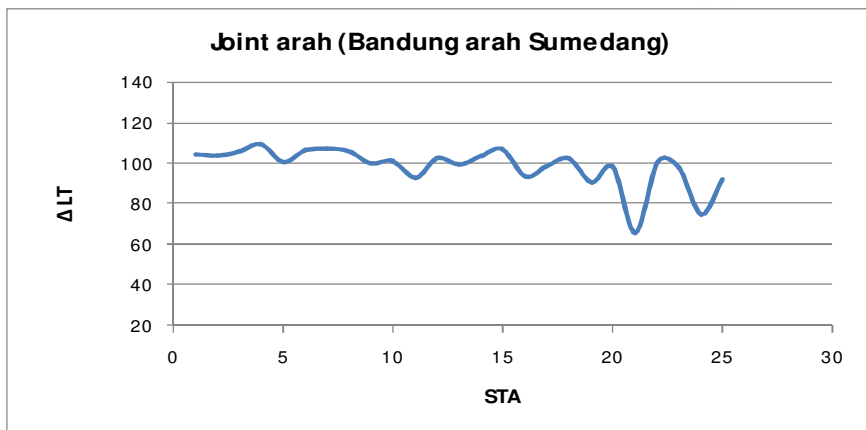
Berdasarkan hasil pengujian FWD kondisi pada joint segmen Sumedang arah Bandung diperlihatkan pada Gambar 6.22 dan Gambar 6.23. Untuk joint segmen Bandung arah Sumedang diperlihatkan pada Gambar 6.24 dan Gambar 6.25.



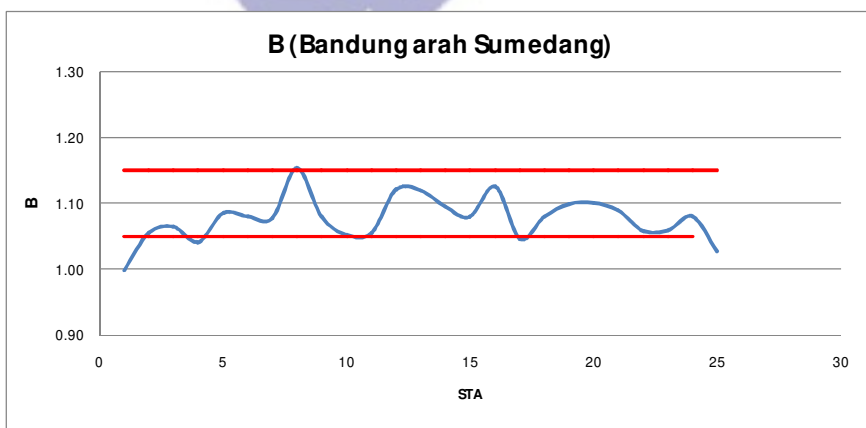
Gambar 6-22 Grafik Nilai ΔLT segmen Sumedang arah Bandung



Gambar 6-23 Grafik Nilai B segmen Sumedang arah Bandung



Gambar 6-24 Grafik Nilai ΔLT segmen Bandung arah Sumedang



Gambar 6-25 Grafik Nilai B segmen Bandung arah Sumedang

7

PENUTUP

Pelapisan ulang perkerasan beton dengan lapisan aspal ini bisa dilakukan di atas perkerasan beton lama ataupun di atas perkerasan beton lama yang telah mempunyai lapisan aspal sebelumnya, baik untuk tujuan peningkatan fungsional jalan tersebut maupun untuk peningkatan struktural perkerasan tersebut. Pelapisan ulang untuk tujuan fungsional, cukup memberikan lapisan beraspal dengan ketebalan minimum, dengan mempertimbangkan kecepatan refleksi yang mungkin timbul pada lapisan beraspalnya. Di samping itu hal yang perlu diperhatikan pada pelapisan ulang dengan aspal di atas beton ini, ialah masalah alur yang mungkin timbul, dengan memilih jenis campuran beraspal yang sesuai karena besar alur yang timbul di atas perkerasan beton (JPCP, JRPC atau CRCP) akan lebih besar dibanding dengan perkerasan aspal di atas perkerasan lentur atau yang distabilisasi semen.

Pelapisan ulang dengan lapisan beraspal untuk tujuan peningkatan struktural, dilakukan pada perkerasan beton lama dengan kondisi sangat baik dan baik. Pada cara ini evaluasi perkerasan dengan metoda AASHTO dilakukan dengan menggunakan metoda perencanaan perkerasan kaku yang selanjutnya menggunakan angka konversi dari lapisan beton ke lapisan aspal, sesuai dengan kekuatan struktur perkerasan tersebut.

Di samping pelapisan ulang aspal di atas perkerasan beton secara langsung, bisa juga dilakukan pelapisan ulang di atas perkerasan beton lama

yang telah mempunyai lapisan aspal di atasnya, di mana perlu dilakukan evaluasi tambahan khusus untuk lapisan aspal lama yang sudah ada.

Pelapisan ulang dengan lapisan beraspal di atas perkerasan beton, dapat juga dilakukan dengan metoda *crack and seat*, *break and seat* serta *rubelization* pada masing – masing jenis perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, bersambung dengan tulangan dan menerus dengan tulangan, di mana metoda ini dilakukan pada perkerasan beton yang sudah mengalami kerusakan cukup parah.

Dasar evaluasi perhitungan pelapisan ulang dengan aspal di atas beton dengan cara langsung, didasarkan pada metoda evaluasi perkerasan kaku, dengan menggunakan konversi “*load damaging factor*” untuk perkerasan beton dan ditambah angka konversi ketebalan dari lapisan beton ke lapisan beraspal.

Dasar evaluasi perhitungan pelapisan ulang aspal di atas beton dengan cara *crack and seat*, *break and seat* serta *rubelization*, dilakukan menurut metoda evaluasi untuk perkerasan lentur, dan lapisan beton yang telah dipecahkan serta lapisan base nya dianggap sebagai lapisan base dan lapisan subbase dengan faktor koreksi untuk kondisi pelatnya maupun kondisi drainasenya. Pada metoda ini vehicle damaging factor (VDF) yang dipergunakan ialah VDF untuk perkerasan lentur.

Perlu perhatian khusus pada daerah sambungan dari perkerasan beton, yang akan berpotensi menimbulkan retak refleksi ke lapisan aspalnya, dengan melakukan pemasangan beberapa teknik penahan retak refleksi. Teknik tersebut misalnya dengan melakukan penggergajian di lapisan aspal di atas sambungan dan menutupnya kembali dengan joint sealent atau dengan teknik yang lainnya.

Metoda perhitungan pelapisan ulang, metoda AASHTO memberikan perhitungan yang cukup rinci dengan langkah – langkah yang jelas, dan bisa diikuti sesuai dengan teknik evaluasi perkerasan yang berkembang di Indonesia pada saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi,F. 2008

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.

American Association of State Highway and Transportation Officials, Suplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998, ISBN 1- 56051-078-1.

Austroad, Guide to pavement technology ; Part 2: Pavement Structural Design ; February 2010; Published by Austroad Incorporated ; Level 9, Robell House, 287 Elizabeth Street; Sydney NSW 2000 Australia.

Departemen Pekerjaan Umum 2003, Pedoman perencanaan Perkerasan Kaku Donald 2003;G. (2003). Benefits of composite pavements, *ARRB Transportation Research*, SMEC International, Australia.

Geoffrey Griffiths and Nick Thom. Concrete Pavement Design Guidance Notes. 2007. Published by Taylor and Franciss , 2 park square, Milton Park, Oxon OX 14 4 rn

Gerardo et.al, composite pavement system: Synthesis or Design And Construction Practices, November 2008

Jofre and Fernandez, 2004; El empleo de pavimentos de suelocemento en Espana XIV Asamblea de Socios & Congreso Ficem, Cartagana Espana

Nunn, 2004.

Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003 Pd T-14-2003

The Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges , vol 7, HD 26/01 "Pavement Design " 2001

Thogersen et al, 2004; *Mechanistic design of semi-rigid pavement-An incremental approach*. Refort 138. Danish Road Institute, Hedenhusene, Denmark.