

JURNAL LITBANG JALAN

VOLUME 20 No. 4

ISSN : 0216 – 4124

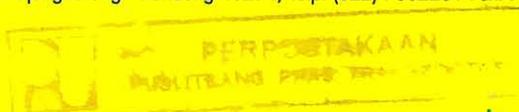
DESEMBER 2003

DAFTAR ISI

PENGANTAR REDAKSI	i
KARAKTERISTIK ASPAL YANG DIPERLUKAN SEBAGAI BAHAN JALAN..... <i>Oleh : M. Sjahdanulirwan</i>	1
PENGARUH PENYIMPANGAN KETEBALAN DAN MUTU PELAT BETON PADA PERKERASAN BETON SEMEN (PERKERASAN KAKU)..... <i>Oleh : Furqon Affandi</i>	5
BETON MUTU TINGGI UNTUK KOMPONEN JEMBATAN PRACETAK (HIGH PERFORMANCE CONCRETE FOR PRECAST BRIDGE COMPONENTS)..... <i>Oleh : Lanneke Tristanto</i>	14
THE CRITICAL AND AVERAGE STATIC CONTACT STRESS	22
<i>Oleh : Siegfried</i>	
POTENSI ASBUTON LAWELE UNTUK PERKERASAN BERASPAL..... <i>Oleh : Kurniadji</i>	27
PEMERIKSAAN KONDISI PELAT BETON LANTAI JEMBATAN DENGAN METODE NON-DESTRUKTIF "IMPACT-ECHO"	34
<i>Oleh : Nandang Syamsudin</i>	
UPAYA MODIFIKASI ASPAL DENGAN POLIMER AGAR DAPAT KOMPATIBEL.. <i>Oleh : Tjitjik Wasiah Suroso</i>	44
PERBANDINGAN UMUR RENCANA ANTARA AC-MODIFIKASI DENGAN AC- KONVENSIONAL MENGGUNAKAN PROGRAM KEN LAYER.....	50
<i>Oleh : Madi Hermadi, Siegfried</i>	
PEMANFAATAN AGREGAT SLAG UNTUK PELAKSANAAN CAMPURAN BERASPAL PADA JALAN DENGAN LALU LINTAS PADAT.....	56
<i>Oleh : Leksmningsih</i>	



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PRASARANA TRANSPORTASI
 BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
 DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
 Jl. Raya Timur No. 264 Kotak Pos 2 Ujungberung - Bandung 40294, Telp. (022) 7802251 Fax. 7802726 e-mail:pusjal@melsa.net.id



ISSN 0216 - 4124

JURNAL LITBANG JALAN

Volume 20 Nomor 4, Desember 2003

PELINDUNG

Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi

PEMIMPIN UMUM / PEMIMPIN REDAKSI

Kepala Bidang Pelayanan IPTEK

DEWAN REDAKSI / DEWAN PENILAI

Furqon Affandi, M. Sjahdanulirwan, Salim Mahmud, Heddy Rahadian,
Saroso BS, GJW. Fernandez, Agus Bari Sailendra, Hikmat Iskandar,
Nani Kusminingrum, Lanny Hidayat, Lanneke Tristanto, Nandang Samsudin

REDAKSI PELAKSANA

Nyoman Suaryana, Tonny Hedytono, Ipah Saripah,
Yeyeh Kursiyah, Ade Romli

Diterbitkan Oleh :

**PUSAT LITBANG PRASARANA TRANSPORTASI
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KIMPRASWIL
DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH**

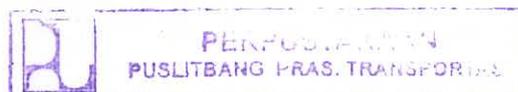
Jalan Raya Timur No. 264, Kotak Pos 2 Ujungberung

Telepon : (022) 7802251-7802252-7802253

e-mail : pusjal@melsa.net.id

Facsimile : (022) 7802726

BANDUNG 40294



PENGANTAR REDAKSI

Kegiatan akhir tahun 2003 ini para peneliti di lingkungan Badan Litbang Kimpraswil, khususnya di lingkungan Pusat Litbang Prasarana Transportasi dituntut untuk lebih mengedepankan kegiatan diseminasi, sosialisasi dan advis teknik (uji mutu) ke pelosok wilayah Indonesia.

Salah satu bentuk diseminasi yang dilakukan oleh para peneliti adalah publikasi hasil penelitian melalui kegiatan penerbitan jurnal ilmiah "Litbang Jalan", yang merupakan jurnal yang sudah terakreditasi dan tersebar ke seluruh Indonesia.

Pada penerbitan Desember 2003, Volume : 20, nomor : 4 redaksi mengantarkan beberapa tulisan hasil penelitian yang menarik untuk dijadikan bahan referensi bagi para engineer di lapangan, peneliti, pengajar dan mungkin bagi pengambil kebijakan di bidang prasarana transportasi.

Semoga bermanfaat.

Pemimpin Redaksi



KARAKTERISTIK ASPAL YANG DIPERLUKAN SEBAGAI BAHAN JALAN

M. Sjahdanulirwan

RINGKASAN

Pada saat ini, berbagai jenis aspal digunakan dalam konstruksi jalan, baik aspal produksi dalam negeri, maupun impor. Pemahaman mengenai karakteristik aspal diperlukan untuk menentukan tipe aspal yang dibutuhkan sesuai keperluannya. Di samping penetrasi index, parameter lain seperti adhesi, titik lembek, dan parameter maltene akan sangat mempengaruhi kinerja aspal dalam campuran perkerasan. Untuk memenuhi tuntutan mutu aspal dalam konstruksi jalan, produsen aspal perlu bekerja sama dengan berbagai pihak, seperti pemasok additive, institusi litbang atau perguruan tinggi, serta menjaga mutu aspal sampai ke lokasi proyek. Makalah ini menguraikan lebih detil mengenai karakteristik aspal, khususnya terhadap aspal keras.

SUMMARY

Nowadays, many types of asphalt have been used on road construction, either from domestic production or imported. Understanding of asphalt characteristics is required to determine the types of asphalt needed in accordance with its requirement. Beside penetration index, the adhesion, softening point, and maltene parameter will strongly influence the asphalt performance on pavement mix. To fulfill the demanding quality of asphalt on road construction, the asphalt producers should have cooperation with many parties, such as additive suppliers, research and development institutions, or universities, and maintaining the asphalt quality up to project location. This paper describes more detail about asphalt characteristics, especially for penetration grade asphalt.

I. PENDAHULUAN

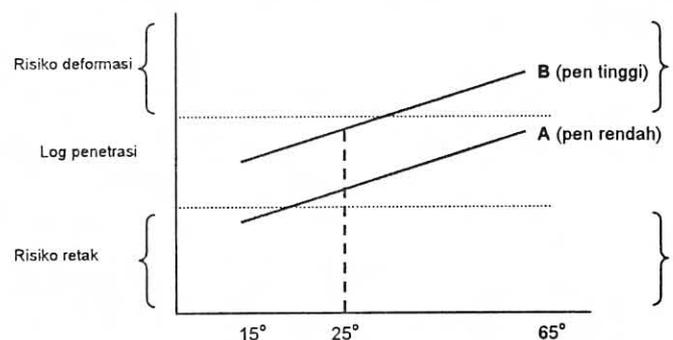
Dalam konstruksi jalan, aspal sering digunakan antara lain sebagai bahan campuran perkerasan, bahan lapis resap/pengikat (prime/tack coat), bahan pengisi retak/celah (slurry seals, seal joints), dan sebagainya.

Untuk bahan campuran perkerasan, kontribusi utama yang diinginkan adalah dalam mendukung kekuatan perkerasan jalan, yang bertahan cukup lama (awet). Sebagai bahan lapis resap/pengikat atau bahan pengisi retak/celah lebih dibutuhkan kemudahan pelaksanaan dan kecepatan pematangan.

Produksi aspal bisa berupa aspal keras (pen grade), aspal cair (cut back), aspal emulsi, maupun aspal alam/batuan (natural/rock asphalt, seperti Asbuton). Dalam makalah ini uraian lebih banyak ditujukan pada aspal keras.

II. JENIS PENETRASI ASPAL

Aspal yang dipakai pada perkerasan jalan adalah jenis pen 40/50, pen 60/70, dan pen 80/100.



Gambar 1. Log penetrasi vs temperatur

Hubungan antara temperatur dan penetrasi untuk setiap jenis penetrasi aspal (bitumen) ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut, A dan B memiliki Penetrasi Index (PI) yang sama namun jenis penetrasi berbeda.

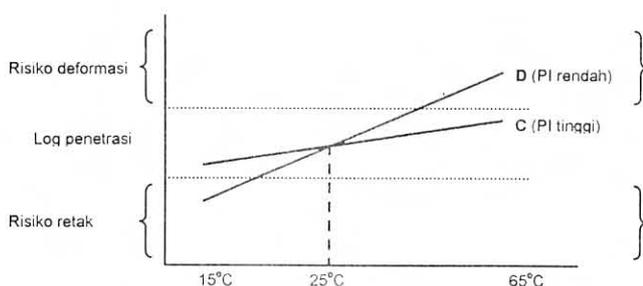
Aspal A (misal pen 40/50) akan menimbulkan risiko retak (crack) pada temperatur rendah, namun tidak/kurang memiliki risiko deformasi. Sebaliknya aspal B (misal pen 80/100) akan menimbulkan risiko deformasi pada temperatur tinggi, namun tidak/kurang memiliki risiko retak pada temperatur rendah.

Bagaimana karakteristik penetrasi yang diinginkan untuk perkerasan jalan? Tentunya tergantung berbagai hal, seperti bentuk kerusakan pada akhir umur rencana, beban lalu lintas yang akan lewat, dan temperatur yang terjadi. Sebagai perencanaan, jika pada akhir umur rencana membolehkan kerusakan deformasi, maka aspal pen tinggi lebih sesuai, namun jika kerusakan retak yang ditolerir, maka aspal pen rendah lebih cocok. Begitu pula jika lalu lintasnya ringan sehingga tidak mempengaruhi deformasi, maka aspal pen tinggi lebih sesuai, sedangkan untuk lalu lintas berat (over load), maka aspal pen rendah lebih cocok. Demikian juga temperatur yang mungkin terjadi, bila didaerah panas/pantai maka aspal pen rendah lebih sesuai, namun untuk daerah dingin/pegunungan maka aspal pen tinggi lebih cocok.

III. PENETRASI INDEX

Penetrasi Index (PI) mencerminkan derajat kemiringan hubungan temperatur dan penetrasi, dengan persamaan :

$$PI = \frac{20 - 500A}{50A + 1} \quad A = \frac{\log 800 - \log (\text{pen pada } 25^\circ \text{C})}{\text{titik lembek} - 25^\circ \text{C}}$$



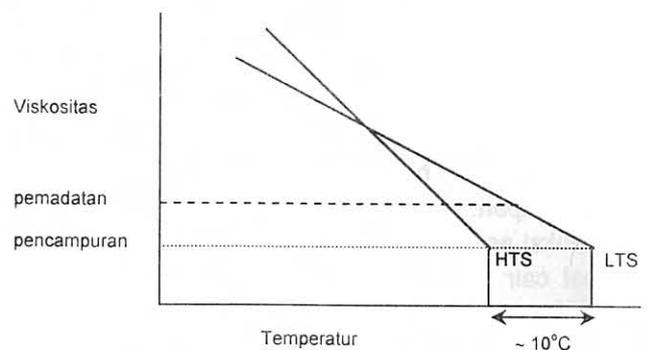
Gambar 2. Log penetrasi vs temperatur

Hubungan antara temperatur dan penetrasi untuk setiap jenis PI ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut C dan D memiliki jenis penetrasi yang sama namun PI berbeda. Aspal C (misal PI +2) terletak pada zone yang aman, baik terhadap risiko deformasi maupun risiko retak, disebut juga "low temperature susceptibility" (LTS). Aspal D (misal PI -2) akan menimbulkan risiko retak pada temperatur rendah dan risiko deformasi pada temperatur tinggi, disebut juga "high temperature susceptibility" (HTS). Idealnya, jika pihak produser mampu menghasilkan aspal dengan PI tinggi, tentunya akan membuat konstruksi jalan lebih awet. Aspal dengan PI tinggi biasanya mempunyai komposisi aromatik (accidaffins) yang lebih rendah (sekitar 15%) dibandingkan aspal dengan PI rendah (aromatik sekitar 50%).

Aspal dengan PI tinggi mengandung lebih banyak parafin, bersifat "rubbery" (karet), sedangkan aspal dengan PI rendah mengandung sedikit parafin, bersifat "brittle" (getas). Dari segi asal usul, aspal yang berasal dari Timur Tengah memiliki PI yang tinggi, aspal dari negara Teluk memiliki PI sedang (-2 sampai +2), dan aspal dari Amerika Latin memiliki PI yang rendah [1].

IV. VISKOSITAS

Untuk kemudahan pelaksanaan (workability), maka viskositas aspal yang sesuai diperlukan pada tahap-tahap pencampuran dan pemadatan campuran beraspal. Hal ini dapat dilakukan dengan pemanasan atau pengenceran (fluxing) aspal. Proses tersebut membutuhkan enersi dan waktu. Dalam kaitan ini aspal dengan kepekaan suhu tinggi (high temperature susceptibility) atau PI rendah lebih ekonomis dibanding aspal dengan kepekaan suhu rendah (low temperature susceptibility) atau PI tinggi, karena enersi dan waktu yang dibutuhkan lebih sedikit untuk mencapai viskositas yang diinginkan.



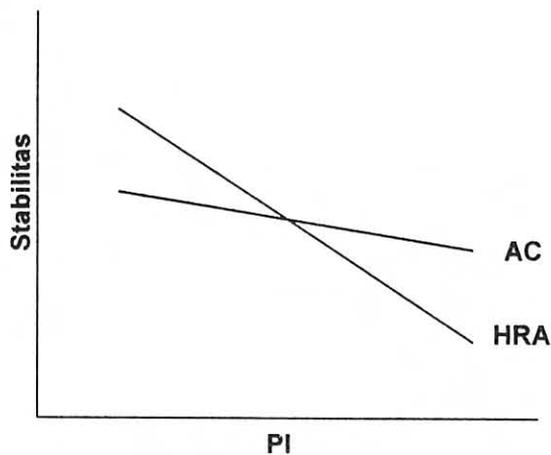
Gambar 3. Viskositas vs temperatur

Hubungan antara viskositas dan temperatur ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk mencapai viskositas pencampuran atau pematatan yang diperlukan, aspal dengan PI tinggi (LTS) ternyata membutuhkan pemanasan yang lebih daripada aspal dengan PI rendah (HTS). Perbedaan tersebut bisa mencapai sekitar 10°C yang berarti tambahan enersi/biaya.

V. KEKAKUAN (STIFFNESS)

Kekakuan aspal turut memberi kontribusi terhadap kekakuan campuran pada perkerasan jalan, yang akan menahan dan mendistribusikan beban ke lapisan di bawahnya. Sesuai dengan rumus Van der Poel, selain dipengaruhi oleh waktu pembebanan dan temperatur perkerasan, kekakuan aspal juga fungsi dari PI dan titik lembek. Kekakuan aspal akan meningkat dengan PI rendah dan titik lembek tinggi. Kenyataan ini, khususnya mengenai PI, menunjukkan bahwa PI tinggi seperti disarankan di depan juga memiliki sisi negatif yang perlu diantisipasi.



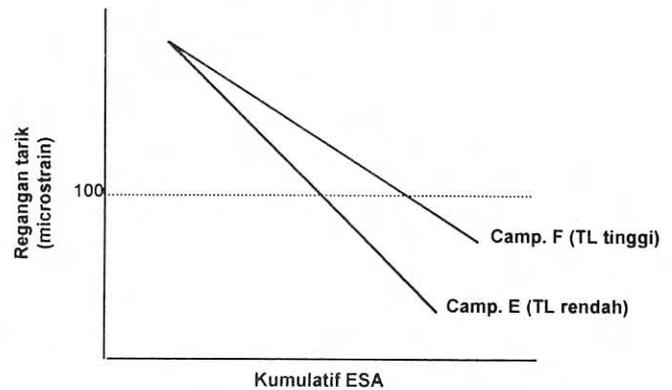
Gambar 4. Stabilitas vs PI

Hubungan antara stabilitas dan PI ditunjukkan pada Gambar 4 [1].

Pada gambar tersebut terlihat bahwa stabilitas HRA (Hot Rolled Asphalt) lebih sensitif terhadap perubahan PI dibanding AC (Asphaltic Concrete)

VI. TEGANGAN TARIK (TENSILE STRAIN)

Pada suatu regangan tarik tertentu (misalnya 100 microstrain) maka campuran perkerasan mulai mengalami kelelahan/kehancuran retak (crack failure). Menurut Rantetoding [2], umur lelah (fatigue life) suatu campuran pada umumnya dipengaruhi oleh jumlah aspal, titik lembek dan rongga udara.



Gambar 5. Regangan tarik vs kumulatif ESA

Hubungan antara regangan tarik dengan jumlah repetisi beban lalu lintas dalam ESA (equivalent standard axles) yang dapat dilayani ditunjukkan pada Gambar 5.

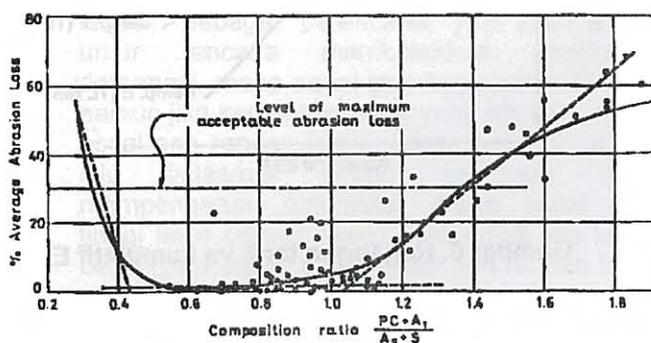
Pada gambar tersebut campuran E memiliki titik lembek rendah, sedangkan campuran F yang memiliki titik lembek tinggi ternyata lebih banyak melayani repetisi lalu lintas.

VII. ADHESI

Adhesi aspal diperlukan utamanya dalam menahan kerusakan retak dan lepas-lepas (ravelling). Untuk konstruksi semacam lapis aus makadam dan laburan aspal (surface dressing) persyaratan adhesi ini menjadi lebih penting. Kekuatan adhesi aspal bisa ditingkatkan dengan menambah bahan kimia (adhesi agents), baik yang bersifat anionik maupun kationik. Hasil penelitian di Pusat Litbang Prasarana Transportasi (Pustrans) menunjukkan bahwa penambahan bahan kimia yang mengandung gugusan amin, dengan dosis sekitar 0,3%, bisa menaikkan kelekatan aspal dari 30% menjadi 50% [3].

VIII. KEAWETAN (DURABILITY)

Keawetan perkerasan beraspal selain dipengaruhi rongga udara, yang akan menyebabkan oksidasi, juga tergantung dari keawetan aspal itu sendiri. Seperti diketahui aspal terdiri dari fraksi asfaltene dan maltene. Fraksi maltene terdiri atas Nitrogen Base (N), Acidaffins 1 (A1), Acidaffins 2 (A2), dan Parafin (P). Asfaltene dan parafin paling tahan terhadap oksidasi. Dalam proses penuaan (ageing) tersebut, senyawa asfaltene selalu naik dengan menurunnya senyawa N, A1 dan A2. Menurut Yeaman dan Lee [4], aspal dikategorikan awet, bila parameter maltene, yaitu perbandingan (N+A1) terhadap (A2+P), memiliki nilai antara 0,4 sampai 1,2. Fenomena ini ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan *resistance to abrasion loss* dan *composition ratio*

IX. KESIMPULAN

Dari uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik aspal yang diinginkan untuk bahan campuran perkerasan adalah :

- Memiliki PI yang tinggi (kepekaan suhu rendah) untuk menahan resiko retak dan deformasi selama umur rencana, namun tidak melebihi PI+2 agar masih memberi kontribusi terhadap kekakuan (stiffness) perkerasan dan tanpa enersi/biaya besar dalam proses pencampuran atau pemadatan.
- Mengandung cukup adhesi agents, seperti gugusan asmin, untuk mengurangi retak dan lepas-lepas.
- Memiliki titik leleh yang cukup tinggi, sebagai kontribusi terhadap kekakuan dan umur lelah yang panjang.

- Mengandung komposisi parameter maltene 0,4 sampai 1,2 untuk mencapai keawetan aspal yang bertahan lama.

X. SARAN

- Untuk menghindari kemungkinan tercemarnya aspal (disengaja atau tidak), pihak produsen aspal sebaiknya bertanggung jawab mengenai mutu aspal sampai ke lokasi proyek. Untuk itu sertifikat mutu aspal selain dikeluarkan pada pintu produsen, juga pada pintu distributor.
- Jika karakteristik aspal yang diinginkan, seperti dikemukakan di depan, membutuhkan biaya yang tinggi maka alternatifnya adalah dilakukan perbaikan mutu di lapangan. Untuk itu pihak produsen bisa bekerja sama dengan berbagai perusahaan, misalnya pemasok additive.
- Dalam hal peningkatan mutu aspal akan dilakukan oleh produsen, kegiatan pengkajian dan penelitian yang dibutuhkan, dapat dimintakan dukungan dari institusi litbang atau perguruan tinggi.

REFERENSI :

- Geoffrey Lees, "Lecture Notes on Material Engineering", 1984/1985, University of Birmingham, UK.
- Rantetoding, P, "Mix Design untuk Indonesia", Prosiding KTTJ-2 Vol. 1 Makalah No. 4, Bandung, Desember 1984.
- Tjitjik S, "Beberapa hasil Penelitian Penambahan bahan additive", Prosiding KTTJ-2, Vol. 1 Makalah No. 10, Bandung, Desember 1984.
- Yeaman, J and Lee, I.K, "Pavement Management HandBook", Vol. II, Unisearch.

Penulis :

Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, MSc., Ahli Peneliti Madya bidang Teknik Jalan, dan Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Departemen Kimpraswil



PENGARUH PENYIMPANGAN KETEBALAN DAN MUTU PELAT BETON PADA PERKERASAN BETON SEMEN (PERKERASAN KAKU)

Furqon Affandi

RINGKASAN

Penggunaan perkerasan beton semen (perkerasan kaku) di Indonesia baru dimulai sekitar tahun 1985, dan perkembangannya tidak begitu tinggi walaupun adanya peningkatan. Di Indonesia jenis perkerasan kaku yang banyak dipergunakan ialah perkerasan bersambung tanpa tulangan, dikarenakan sederhana dalam pelaksanaan serta murah, dengan ketebalan pelat sekitar 25 cm. Pengaruh dari perubahan modulus reaksi komposit antara tanah dasar dan fundasi tidak banyak berpengaruh terhadap masa pelayanan, perubahan pada modulus reaksi komposit sebesar sekitar $\pm 25\%$ hanya akan merubah masa pelayanan sekitar $\pm 6\%$. Dari analisa yang dilakukan terhadap penyimpangan ketebalan pelat maupun penurunan mutu beton, akan memberikan pengaruh yang besar terhadap masa pelayanan dari perkerasan tersebut. Pengurangan ketebalan pelat sebesar 25 mm dari tebal rencana atau penurunan mutu beton sebesar 20% dari mutu rencana akan menurunkan masa pelayanan perkerasan sampai setengahnya. Besar pengurangan tadi, walaupun diberi kompensasi dengan pengurangan pembayaran terhadap harga satuan kontrak, namun perlu analisa ekonomi terhadap kerugian yang ditimbulkan dari pengurangan tadiya.

SUMMARY

The application of concrete pavement in Indonesia started 1995, there was increase in its development but no significant. Rigid pavement type with commonly use in Indonesia is plain concrete pavement due to the simplicity in application and cheap, with typical slab thickness of 25 cm. The influence of the change composite reaction modulus between subgrade and foundation do not influence much of service life, the change of composite modulus reaction by approximately $\pm 25\%$ will change the service life by $\pm 6\%$. From the analysis of slab thickness and concrete quality deficiencies, gave significant influence on pavement service life. The decrease of slab thickness by 25 mm of design thickness or the decrease of concrete quality by 20% of design quality will decrease half of pavement service life. Even though there is compensation by decreasing the payment on the contract unit price but economic analysis on disadvantages is required.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan perkerasan beton semen atau perkerasan kaku di Indonesai mulai diperkenalkan sejak tahun 1985 an, dan sampai saat ini perkembangannya belum begitu banyak, namun menunjukkan adanya penggunaan yang meningkat terutama di jalan jalan tol dan jalan jalan utama di kota kota besar.

Di Indonesia jenis perkerasan kaku yang digunakan ialah perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, walaupun ada tiga jenis perkerasan kaku lainnya seperti :

- Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan
- Perkerasan kaku menerus dengan tulangan
- Perkerasan kaku pratekan

Hal ini didasarkan atas pertimbangan harga yang lebih ekonomis serta kemudahan dalam pelaksanaan.

Perkerasan kaku ini mempunyai sifat yang berbeda dengan perkerasan lentur pada umumnya, dimana perbedaan yang paling nyata ialah pada pendistribusian beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya. Pendistribusian beban lalu lintas pada perkerasan kaku ke lapisan tanah dasar relatif kecil, dikarenakan pelat betonya sendiri mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kekakuan pada perkerasan lentur. Hal ini antara lain disebabkan oleh sifat modulus elastisitas beton yang 10 kali lebih besar dari modulus campuran beraspal, sehingga perkerasan beton semen ini disebut pula sebagai perkerasan kaku. Dengan sifat yang demikian,

fungsi pelat beton pada perkerasan kaku ini lebih dominan dibandingkan dengan lapisan pondasi maupun tanah dasar dari perkerasan tersebut. Perkerasan kaku terdiri dari dua lapis, yaitu lapisan pondasi dan pelat betonnya sendiri, yang langsung diletakkan diatas tanah dasar yang telah disiapkan sebelumnya. Daya dukung lapisan tanah dasar biasanya dinyatakan dengan *modulus of subgrade reaction* atau CBR tidak perlu tinggi sebagaimana yang diperlukan pada perkerasan lentur, yang lebih penting adanya keseragaman daya dukung tersebut. Kekuatan lapis pondasi pada perkerasan kaku ini bukan ditujukan untuk menaikkan kekuatan tanah dasar tersebut, tetapi lebih ditujukan untuk hal hal seperti memberikan daya dukung yang lebih merata, sebagai lapisan yang mereduksi muai susut pada tanah ekspansif, untuk mencegah *pumping* serta sebagai lantai kerja. Ketebalan pelat yang dituangkan dalam gambar rencana guna melayani beban lalu lintas tertentu, selain tergantung pada besar beban lalu lintas yang harus dilayaninya juga tergantung pada mutu betonnya sendiri, yang dinyatakan oleh kuat tarik lenturnya. Hasil perhitungan tebal pelat yang diperlukan untuk melayani beban lalu lintas tersebut, dalam perhitungan akhirnya dibulatkan ke angka kelipatan $\frac{1}{2}$ " atau 1 cm terdekat diatasnya. Dalam pelaksanaannya, ketebalan rencana serta kualitas beton yang terpasang ada kemungkinan lebih rendah dari ketentuan yang disyaratkan. Hal hal ini biasanya diakomodir dengan adanya toleransi baik pada ketebalan maupun pada kualitas beton sampai tingkat tertentu. Toleransi ini harus disadari akan memberikan risiko yang akan menurunkan pelayanan perkerasan kaku tersebut, sehingga penurunan tersebut perlu mendapat perhatian yang cukup mendalam.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dipergunakan disini, didasarkan atas:

1. Metoda Analisis

Analisis dilakukan dengan mempelajari parameter parameter dari metoda perencanaan tebal perkerasan kaku untuk satu jenis perkerasan kaku. Parameter parameter ini, selanjutnya dipisahkan menjadi dua bagian utama, yaitu yang dianggap tetap selama analisa ini dan ada yang di ubah ubah guna melihat pengaruhnya terhadap kinerja perkerasan tersebut.

Pemilihan parameter yang tetap dan ber ubah ubah, didasarkan atas lokasi dan kondisi dimana perkerasan itu akan dilaksanakan serta atas hal hal pelaksanaan yang akan mempengaruhi persyaratan konstruksi yang mungkin tidak bisa dipenuhi sepenuhnya.

Analisis ini dibagi menjadi :

- a. Analisa perkerasan kaku dengan besaran parameter parameter yang telah ditetapkan
- b. Analisa perkerasan kaku dengan merubah satu per satu besaran parameter tersebut, seperti :
 - tebal pelat beton
 - mutu beton dan
 - modulus reaksi komposit (k) antara tanah dasar dan lapis pondasi
2. Pengumpulan data besaran toleransi pada pelaksanaan perkerasan kaku dan sanksinya
3. Perhitungan antara besaran toleransi yang dipergunakan dan kerugian yang akan diakibatkannya

III. PERENCANAAN PERKERASAN KAKU DAN PARAMETERNYA

3.1 Perencanaan perkerasan kaku

Perencanaan perkerasan kaku secara umum meliputi antara lain :

- a. Penentuan tebal lapisan pondasi
- b. Penentuan panjang slab antar sambungan melintang
- c. Penentuan tebal pelat beton
- d. Penentuan besar dan jumlah ruji (*dowel*) dan batang pengikat (*tie bars*)
- e. Penentuan besar dan jarak tulangan memanjang serta melintang (bila menggunakan tulangan)

Pada perencanaan tersebut diperlukan data daya dukung tanah dasar yang dinyatakan dengan modulus reaksi tanah dasar (M_R), modulus reaksi komposit (k), mutu beton yang dinyatakan oleh kuat tarik lentur, mutu baja dan kualitasnya, besar dan tipe beban lalu lintas yang harus dipikul serta kondisi lingkungan dimana jalan tersebut akan dibangun. Ada beberapa metoda perhitungan dalam penentuan tebal pelat tersebut diantaranya cara NAASRA, AASHTO.

Pada bahasan ini, tinjauan efektifitas perkerasan beton akibat penyimpangan tebal serta mutunya didasarkan atas perhitungan tebal pelat berdasarkan metoda AASHTO, dimana perhitungan dengan cara AASHTO ini bisa dilakukan dengan menggunakan nomogram atau rumus yang telah disediakan, sehingga perubahan besaran parameter yang diinginkan akan memudahkan perhitungan. Untuk keperluan ini dipergunakan rumus yang telah tersedia, sehingga ketelitiannya bisa lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan nomogram.

Rumus dasar dari penentuan tebal perkerasan tersebut adalah sebagai berikut :

$$\log_{10} W_{18} = z_R \cdot S_o + 7,35 \cdot \log_{10} (D+1) - 0,06 + (\log_{10} (\Delta \text{ PSI} / 4,5 - 1,5) / (1+1,624 \cdot 10^7 / (D+1)^{8,46}) + (4,22 - 0,32 \text{ pt}) \cdot \log_{10} \{ S'c + Cd (D^{0,75} - 1,132) / 215,63 \cdot J (D^{0,75} - 18,42 (Ec/k)^{0,25}) \} \dots (1)$$

Dimana :

- Z_R ; Standar normal deviasi
- R ; Reliability
- S_o ; Standar deviasi,
- $\Delta \text{ PSI} = p_t - p_o$; Kehilangan tingkat pelayanan,
- E_c ; Modulus Elastisitas beton,
- $S'c$; Modulus of rupture,
- J ; Koefisien penyaluran beban,
- Cd ; Koefisien drainase,
- k ; Modulus reaksi komposit.
- D ; Tebal pelat beton
- W_{18} ; Jumlah kumulatif beban lalu lintas dalam 18 kip SAL

Jumlah kumulatif beban lalu lintas dalam 18 kip SAL, juga menggambarkan umur pelayanan perkerasan tersebut dalam satuan waktu (tahun).

3.2 Perubahan besaran parameter perencanaan

Dalam penentuan hubungan tebal pelat serta beban lalu lintas yang dapat dipikulnya dalam satuan ESAL, faktor faktor lain seperti modulus reaksi komposit, ketebalan serta jenis lapis pondasi, mutu beton, jenis perkerasan beton semen yang dievaluasi, keadaan lingkungan, yang semuanya diambil sama, sehingga hanya faktor tebal lapisan pelat beton saja yang merupakan besaran yang berubah ubah. Dengan demikian akan didapat hubungan antara tebal pelat beton dan jumlah beban lalu lintas yang dapat dipikul.

Begitu juga dalam menentukan pengaruh mutu beton atau pengaruh modulus reaksi komposit terhadap kemampuan perkerasan, maka semua parameter lainnya dipegang tetap sehingga hanya parameter parameter yang akan dicari pengaruhnya saja yang ber ubah ubah. Dengan demikian akan didapat korelasi antara perubahan tebal pelat terhadap kemampuan daya dukung perkerasan serta korelasi antara modulus reaksi komposit maupun mutu beton terhadap kemampuan atau kinerja perkerasan tersebut.

Jumlah beban kendaraan yang dapat dipikul tersebut diatas, dinyatakan dalam satuan 18 kip ESAL (8,16 ton) yang lewat pada lajur rencana, sehingga untuk jalan dengan jumlah lajur pada masing masing arah yang lebih dari satu maka besaran yang didapat tersebut harus dibagi koefisien persen 18 kip ESAL pada lajur rencana, sebagai mana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.
PROSEN 18 KIP ESAL PADA LAJUR RENCANA

Jumlah lajur pada masing masing arah	Persen 18 kip ESAL pada lajur rencana
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Parameter parameter lainnya yang termasuk dalam perencanaan perkerasan kaku ini ialah Reliability, dimana besarnya tergantung pada fungsi jalan serta klasifikasi jalanya sendiri, sebagai mana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
BESARAN RELIABILITY YANG DISARANKAN

Fungsi jalan	Faktor Reliability yang disarankan	
	Klasifikasi jalan	
	Urban	Rural
Jalan negara dan jalan bebas hambatan	85 – 99,9	80 – 99,9
Arteri utama	80 – 99	80 – 99
Kolektor	80 – 95	75 – 95
Lokal	50 – 80	50 – 80

Hal lain yang perlu dimasukkan dalam analisa ini ialah standar deviasi (S_o) yang menggambarkan kondisi lokal dimana jalan akan dibangun. Pada jalan percobaan AASHTO nilai ini ialah 0,25 untuk perkerasan kaku, yang setara dengan penyimpangan atau deviasi lalu lintas sebesar 0,35.

Perkerasan yang dibangun harus dapat melayani lalu lintas selama masa pelayanannya sesuai dengan jumlah beban lalu lintas yang harus dipikulnya. Hal ini dinyatakan dengan nilai serviceability index yang nilainya antara 0 dan 5. Untuk perkerasan jalan kaku serviceability awal p_o ialah 4,5 dan serviceability pada akhir umur rencananya tergantung pada keadaan akhir yang diinginkan, apakah rehabilitasi, pelapisan ulang atau rekonstruksi. Untuk jalan jalan utama disarankan 2,5 sedang untuk jalan biasa dengan volume lalu lintas yang tidak terlalu tinggi disarankan sebesar 2.

Cara penentuan lain dari serviceability index (pt) didasarkan atas pendapat masyarakat umum. Di Amerika hubungan antara pendapat umum dan nilai tingkat serviceability adalah sebagai mana diperlihatkan pada Table 3 dibawah ini :

Tabel 3.
PERKIRAAN NILAI TERMINAL SERVICEABILITY; PT

Terminal serviceability; pt	Prosen dari orang yang menyatakan tidak menerima
3,0	12
2,5	55
2	85

Pada perkerasan kaku, sifat sifat yang penting dari material tersebut ialah modulus elastisitas beton serta kuat tarik lentur (Modulus of Rupture) nya. Modulus elastisitas bisa dikorelasikan dari kuat tekan beton dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_c = 57.000 (f'c)^{0,5} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas beton (psi)

$f'c$ = kuat tekan beton (psi)

Faktor penting lainnya dalam menjamin kinerja dari perkerasan kaku ialah drainase, dan faktor ini tergantung pada kualitas drainase nya sendiri dan prosentase waktu selama satu tahun dimana konstruksi perkerasan mendekati tingkat kejenuhan. Nilai yang direkomendasikan ini disajikan pada Tabel 4

Tabel 4.
REKOMENDASI NILAI KOEFISEN DRAINASE CD, PADA PERKERASAN KAKU

Prosentase waktu dimana konstruksi perkerasan terexposi mendekati keadaan jenuh				
Kualitas drainase	< 1%	1-5 %	5 – 25 %	> 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
Cukup	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

3.3 Pengaruh perubahan beberapa variable terhadap kinerja perkerasan kaku

Dalam penentuan pengaruh perubahan besaran parameter yang akan diamati, terlebih dahulu ditetapkan satu perencanaan standar yang meliputi besaran dari parameter parameter nya. Perencanaan standar ini dijadikan dasar untuk melihat perubahan yang terjadi jika beberapa parameter tertentu diantaranya mengalami perubahan.

Untuk mengetahui pengaruh pengaruh tersebut lebih jelas, pada tulisan ini diberikan analisa perhitungan perkerasan kaku standar dengan besaran besaran sebagai berikut :

- Reliability, $R = 95\%$
- Standar deviasi, $S_o = 0,29$
- Kehilangan tingkat pelayanan, $\Delta PSI = p_t - p_o ; = 4,2 - 2,5 = 1,7$
- Modulus Elastisitas beton, $E_c = 5x 10^6$ psi
- Modulus of rupture, $S'c = 650$ psi
- Koefisien penyaluran beban, $J = 3,2$
- Koefisien drainase, $C_d = 1,0$
- Modulus reaksi tanah dasar komposit, $k = 72$ pci

Dengan beban lalu lintas yang harus dipikul selama umur rencananya sebesar $5,1x 10^6$ ESAL, serta menggunakan rumus (1) diatas, maka

didapat tebal pelat yang diperlukan ialah 9,73 inci (24,7 cm).

Hal yang mungkin terjadi ialah bila dalam pelaksanaan terjadi penyimpangan dari apa yang telah ditetapkan, misalnya ketebalan pelat yang kurang dari tebal rencana, atau mutu beton yang lebih rendah dari yang ditetapkan serta kemungkinan tidak tercapainya modulus reaksi komposit lapisan pondasi dan tanah dasar dari perkerasan tersebut.

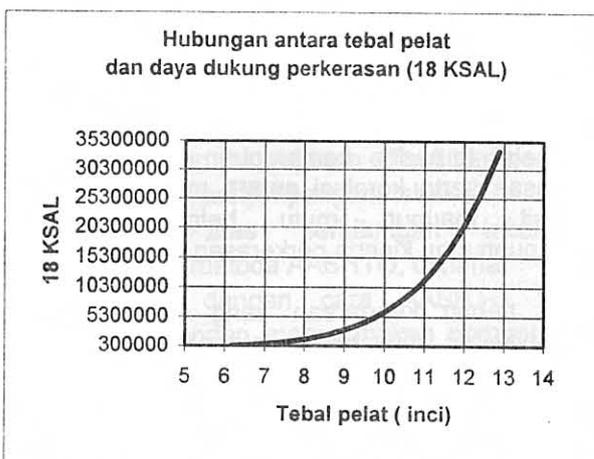
3.3.1 Perubahan besaran ketebalan pelat beton

Guna mendapatkan pengaruh perubahan besaran tebal pelat beton terhadap kinerja perkerasan tersebut, dilakukan perhitungan dengan melakukan perubahan ketebalan pelat dari tebal perencanaan standar. Selanjutnya untuk setiap nilai tebal pelat yang baru tersebut dihitung kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas dengan menggunakan rumus dasar seperti yang sajikan pada rumus (1) didepan.

Untuk memudahkan melihat pengaruh perubahan ketebalan pelat terhadap daya dukung perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, telah dilakukan perhitungan dan hasilnya disajikan pada Tabel 5 serta Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 5.
HUBUNGAN ANTARA PENGURANGAN TEBAL PELAT DAN DAYA DUKUNG LALU LINTASNYA

D(incl)	W18, 18 kip ESAL	% Pengurangan ketebalan pelat	% Pengurangan daya dukung pelat
6.19	3.5E+05	36.42	93.16
6.58	4.9E+05	32.37	90.49
6.97	6.7E+05	28.32	86.91
7.37	9.1E+05	24.28	82.12
7.76	1.2E+06	20.23	75.72
8.16	1.7E+06	16.19	67.23
8.55	2.2E+06	12.14	56.08
8.94	3.0E+06	8.09	41.61
9.34	3.9E+06	4.05	22.98
9.73	5.1E+06	0.00	0.00



Gambar 1. Grafik kekuatan daya dukung perkerasan dengan tebal pelat beton



Gambar 2. Grafik pengaruh % pengurangan tebal pelat terhadap daya dukung perkerasan

Kemampuan perkerasan untuk memikul beban lalu lintas dengan tebal pelat 9,73 inci mencapai $5,1 \times 10^6$ ESAL dan ini menurun mencapai $3,5 \times 10^6$ untuk ketebalan pelat sampai 6,19 inci.

Dari tabel tersebut terlihat pengurangan tebal pelat mempunyai pengaruh yang besar terhadap kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, hal ini ditunjukkan dengan pengurangan ketebalan pelat sebesar 1,18 inci (2.90 cm) dari ketebalan pelat 9,73 inci menjadi 8,55 inci telah menurunkan kemampuan memikul lalu lintas sebesar $2,9 \times 10^6$ ESAL, yaitu dari $5,1 \times 10^6$ menjadi $2,2 \times 10^6$ ESAL. Penurunan ketebalan pelat yang lebih besar lagi, sampai mencapai ketebalan 6,19 inci mengakibatkan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas hanya menjadi $3,5 \times 10^5$ ESAL saja.

Pengurangan ketebalan pelat sekitar 10 % dari tebal rencana, akan menimbulkan pengurangan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas sekitar 50% nya, yang berarti pula umur rencananya akan berkurang sebesar 50% pula. Pengurangan ketebalan pelat sebesar 30 % dari tebal rencana, akan menurunkan kemampuan memikul lalu lintas nya sebesar 90%. Dari Gambar 2 terlihat, pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas akan lebih menurun dengan tajam sampai pengurangan tebal pelat sekitar 17,5% yang mengakibatkan penurunan kemampuan melayani lalu lintas sebesar sekitar 70%. Pengurangan tebal pelat yang lebih besar lagi mengakibatkan prosentase penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas tidak setajam sebelumnya sebagai mana ditunjukkan dengan lengkungan pada grafik yang ada di Gambar 2.

3.3.2 Pengaruh penurunan mutu beton terhadap kemampuan perkerasan terhadap beban lalu lintas

Parameter mutu beton untuk perkerasan kaku ialah kuat tarik lentur yang dinyatakan dengan S'c. Bila kuat tarik lenturnya menurun, walaupun tebal pelat dan parameter lainnya tetap, maka hal ini akan berpengaruh terhadap kemampuan perkerasan tersebut dalam memikul beban lalu lintas nya atau umur pelayanannya. Hasil perhitungan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas dengan berbagai besar penurunan mutu beton yang dinyatakan oleh kemampuan tarik lentur nya diperlihatkan pada Tabel 6 serta Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 6. PENGARUH PERUBAHAN KEKUATAN BETON TERHADAP KEMAMPUAN PERKERASAN DALAM MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS

Tebal pelat (D); inci	Kuat tarik lentur (S'c); psi	Kumulatif axle load 18 kip SAL	% perbedaan kuat tarik S'c	% perbedaan kumulatif 18 kip W18
9.73	357.5	796090.6	45	84.51
9.73	390	1046578	40	79.63
9.73	422.5	1346872	35	73.79
9.73	455	1702054	30	66.87
9.73	487.5	2117313	25	58.79
9.73	520	2597939	20	49.44
9.73	552.5	3149318	15	38.70
9.73	585	3776932	10	26.49
9.73	617.5	4486349	5	12.68
9.73	650	5137945	0	0.00

Penurunan kuat tarik lentur beton dari 650 psi sampai 357 psi menyebabkan jumlah kumulatif beban lalu lintas yang dapat dipikul menurun dari sekitar $5,1 \times 10^6$ menjadi $0,8 \times 10^6$ SAL. Sedangkan penurunan mutu beton sebesar 130 psi, yaitu dari 650 psi menjadi 520 psi menyebabkan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas dari $5,1 \times 10^6$ ESAL menjadi $2,6 \times 10^6$ ESAL. Penurunan kuat tarik lentur antara 650 psi sampai 500 psi memberikan pengurangan daya dukung lalu lintas yang cukup tajam dibandingkan dengan penurunan yang terjadi bilamana mutu beton turun dari sekitar 500 psi sampai 350 psi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 dimana garis lengkungan antara kuat tarik lentur 650 sampai 500 psi lebih curam dibandingkan dengan tangen antara 500 dan 350 psi. Bila dilihat dari prosentase penurunan kuat tarik lentur dari kuat tarik lentur rencana terhadap penurunan kemampuan perkerasan terhadap lalu lintas, terlihat penurunan itu sangat mempunyai pengaruh yang cukup besar. Penurunan kuat tarik lentur sampai 10% menyebabkan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas turun sampai 27%,

bahkan penurunan kuat tarik lentur sebesar 20% menyebabkan penurunan daya dukung perkerasan sebesar 50%. Penurunan kuat tarik lentur sampai 45 %, menjadikan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas turun sampai 84%.



Gambar 3. Grafik kekuatan daya dukung perkerasan dengan mutu beton (kuat tarik lentur)



Gambar 4. Grafik pengaruh % pengurangan mutu beton (kuat tarik lentur) terhadap daya dukung perkerasan

3.3.3 Pengaruh besar modulus reaksi tanah dasar terhadap daya dukung perkerasan dalam memikul beban lalu lintas

Modulus reaksi komposit "k" dipengaruhi oleh modulus of rupture tanah dasarnya sendiri serta lapisan pondasi yang digunakan pada perkerasan tersebut, walaupun lapisan pondasi itu bukan dimaksudkan untuk menaikkan kemampuan perkerasan secara keseluruhan namun lebih ditujukan untuk mendapatkan keseragaman daya dukung lapisan pondasi serta kemudahan pekerjaan.

Pengaruh "k" tersebut dapat dilihat pada Tabel 7, dimana penurunan nilai "k" dari 72 pci sampai 50 pci menurunkan kemampuan memikul lalu lintas dari 5.137.945 SAL menjadi 4.627.043 SAL, sedangkan kenaikan "k" dari 72 pci ke 90 pci, menaikkan daya dukung dari 5.137.945 SAL menjadi 5.408.279 SAL. Bila dilihat dari % penurunan atau kenaikan kumulatif beban lalu lintas yang dapat dipikul oleh perkerasan sebagai akibat dari penurunan atau kenaikan nilai "k" tersebut ialah, penurunan "k" sebesar 30% dan kenaikan " k" sebesar 25 % dari nilai "k" rencana hanya menurunkan dan menaikkan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas sebesar -7,00 % sampai + 5,3 % terhadap kemampuan rencana semula.

Hal ini menunjukkan perubahan yang cukup besar pada modulus reaksi komposit "k" tidak menyebabkan perubahan kemampuan yang begitu besar dari perkerasan dalam memikul beban lalu lintas, sebagaimana halnya pada perubahan tebal pelat maupun perubahan mutu betonya sendiri.

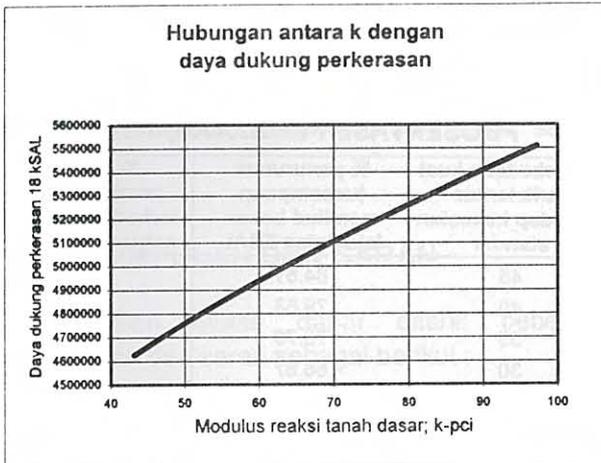
**Tabel 7
PENGARUH MODULUS REAKSI KOMPOSIT "K" TERHADAP KEMAMPUAN MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS**

k,pci	18 KSAL	k,pci	% perbedaan KSAL
43.2	4627043	43.2	-9.94
46.8	4698567	46.8	-8.55
50.4	4767391	50.4	-7.21
54.0	4833829	54	-5.92
57.6	4898138	57.6	-4.67
61.2	4960533	61.2	-3.45
64.8	5021199	64.8	-2.27
68.4	5080291	68.4	-1.12
72.0	5137945	72.0	0.00
75.6	5194277	75.6	1.10
79.2	5249391	79.2	2.17
82.8	5303377	82.8	3.22
86.4	5356316	86.4	4.25
90.0	5408279	90	5.26
93.6	5459330	93.6	6.26
97.2	5509527	97.2	7.23

IV. PENGARUH BESAR TOLERANSI PADA KINERJA PERKERASAN KAKU

4.1 Toleransi ketebalan pelat beton

Batas batas toleransi yang diterapkan pada suatu pekerjaan, dimaksudkan untuk memberikan sedikit kelonggaran dalam ketepatan pelaksanaan tanpa menimbulkan pengaruh yang berarti. Dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan termasuk didalamnya perkerasan beton semen ada beberapa toleransi yang umum diterapkan pada suatu proyek. Di Indonesia toleransi tersebut antara lain ialah kerataan permukaan pelat beton, ketebalan pelat beton dan mutu betonya sendiri.



Gambar 5. Hubungan antara “k” dengan daya dukung perkerasan



Gambar 6. Hubungan antara “k” dengan % penurunan atau kenaikan daya dukung perkerasan terhadap lalu lintas

Toleransi dari ketebalan pelat beton ini secara garis besar dapat dibedakan atas 3 (tiga) katagori.

1. Katagori yang pertama ialah bila kekurangan ketebalan pelat tidak lebih dari 5 mm,
2. Katagori kedua bila kekurangan ketebalan pelat antara 5 sampai 25 mm dan
3. Katagori ketiga bila kekurangan tebal pelat lebih dari 25 mm.

Katagori katagori tersebut diatas dikaitkan dengan pembayaran dan juga dengan pertimbangan teknis lainnya, khususnya untuk pelat dengan kekurangan tebalnya lebih dari 25 mm (1 inci).

Pada katagori pertama pembayaran dilakukan secara penuh, sesuai dengan perjanjian yang tertera dalam harga satuan, namun untuk katagori dua pembayaran disesuaikan dengan kekurangan ketebalan yang terjadi sebagaimana terlihat pada Tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8.
Pembayaran harga satuan yang diakibatkan pengurangan ketebalan pelat beton

Kekurangan ketebalan; mm - (inci)	Prosentase harga satuan kontrak yang dibayarkan
0-5 mm (0 – 0,20 inci)	100 %
6-8 mm (0,24 – 0,31 inci)	80 %
9-10 mm(0,35 –0,39 inci)	72 %
11-12 mm(0,43 – 0,47 inci)	68 %
13 – 19 mm (0,51 – 0,75 inci)	57 %
20 – 25 mm (0,79 – 1 inci)	50 %

Pada katagori ketiga yaitu bila kekurangan tebal pelat lebih dari 25 mm (1 inci), maka perlu dilakukan penelitian khusus. Daerah tersebut mungkin dibongkar atau tidak, tergantung hasil pemeriksaan, tetapi untuk daerah itu tidak akan dilakukan pembayaran.

4.2 Toleransi kekurangan kekuatan beton

Toleransi penurunan mutu beton juga diberikan pada pelaksanaan perkerasan kaku, dalam beberapa spesifikasi yang dipakai di Indonesia. Toleransi kekuatan beton masih akan disetujui bila nilai rata rata kekuatan dari empat hasil test yang berurutan, tidak lebih kecil dari 80% terhadap kekuatan rencananya. Bila mutu beton tidak kurang dari 80% kekuatan rencananya, maka akibat setiap pengurangan kekuatan akan dilakukan penyesuaian harga pembayaran sebagai berikut :

“untuk setiap 1% atau kurang dari kekurangan – kekuatan beton (concrete strength – deficiency), yang dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$100\% - \frac{\text{kekuatan sebenarnya}}{\text{kekuatan rencana}} \times 100$$

maka perkerasan beton yang demikian itu akan dibayar dengan pengurangan sebesar 2% dari harga satuan kontrak”.

Dengan kata lain untuk setiap 1% atau kurang dari kekurangan kekuatan terhadap kuat tarik lentur rencananya, pengurangan pembayaran akan dikenakan sebesar 2% dari harga satuan kontrak.

4.2 Kaitan antara toleransi dengan prosentase pembayaran

Kaitan antara toleransi yang umumnya diberlakukan di Indonesia seperti disebutkan diatas dengan pengurangan kekuatan yang ditimbulkannya, akan memberikan hubungan seperti yang tertera pada Tabel 9.

Pengurangan ketebalan pelat beton sampai 2,5 cm atau 1 inci dari tebal rencana 9,73 inci, atau sekitar 10% nya, akan mengurangi kemampuan daya dukung pelat terhadap lalu lintas sampai sekitar 50

% nya. Selanjutnya pengurangan ketebalan pelat yang mencapai 2,5 cm akan mengalami pengurangan pembayaran sekitar 50% nya, sebagai mana yang diuraikan diatas.

Untuk pengurangan ketebalan pelat dibawah 2,5 cm, pengurangan kemampuan daya dukung perkerasan dalam memikul lalu lintas terhadap pengurangan pembayaran yang sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 9, akan memberikan prosentase pengurangan biaya yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan pengurangan kemampuan perkerasan tersebut sebagai mana diperlihatkan pada Gambar 7.

Pengurangan kekuatan tarik lentur dari betonnya sendiri terhadap daya dukung perkerasan untuk lalu lintas, telah diuraikan didepan yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 10. Secara sederhana hubungan tersebut ialah untuk setiap prosen pengurangan kekuatan mutu beton, akan menyebabkan berkurangnya kemampuan memikul beban sebesar kurang lebih 2,9 % nya.

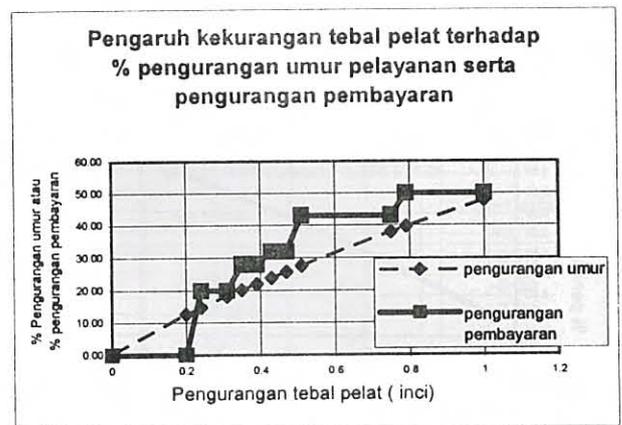
Tabel 9.
HUBUNGAN ANTARA PENGURANGAN TEBAL PELAT, % PENGURANGAN KEMAMPUAN PELAT MEMIKUL BEBAN SERTA % PENGURANGAN BIAYA PEMBAYARAN.

Pengurangan ketebalan pelat; mm (incli)	Prosentase pengurangan ketebalan pelat	% Pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas	% Pengurangan pembayaran terhadap harga satuan kontrak
0 (0)	0	0.00	0
5 (0.2)	2.055	12.76	0
6 (0.24)	2.467	14.76	20
8 (0.31)	3.186	18.20	20
9 (0.35)	3.597	20.12	28
10 (0.39)	4.008	22.03	28
11 (0.43)	4.419	23.90	32
12 (0.47)	4.830	25.75	32
13 (0.51)	5.242	27.58	43
19 (0.75)	7.708	37.98	43
20 (0.79)	8.119	39.63	50
25 (1.0)	10.277	47.84	50

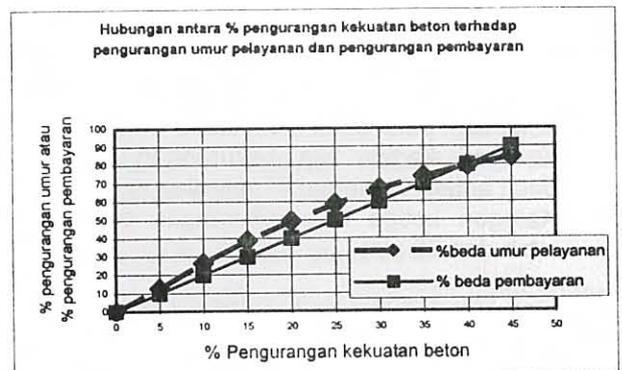
Gambaran antara besar pengurangan kekuatan mutu beton terhadap pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas serta pengurangan pembayaran dapat dilihat pada Gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk setiap pengurangan mutu beton, menyebabkan prosentase pengurangan kemampuan memikul beban lalu lintas yang sedikit lebih besar dari pengurangan biaya yang dikenakan.

Tabel 10.
PROSENTASE PENURUNAN KUAT TARIK LENTUR BETON TERHADAP KEMAMPUAN MEMIKUL BEBAN LALU LINTAS DAN PROSENTASE PEMBAYARANYA

% perbedaan kuat tarik lentur terhadap kekuatan standar	% penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas ESAL	% beda pembayaran terhadap harga satuan kontrak
45	84.51	90
40	79.63	80
35	73.79	70
30	66.87	60
25	58.79	50
20	49.44	40
15	38.70	30
10	26.49	20
5	12.68	10
0	0.00	0



Gambar 7. Hubungan antara % pengurangan ketebalan pelat beton terhadap % kemampuan daya dukung perkerasan dan % pembayaran



Gambar 8. Hubungan antara % pengurangan kekuatan mutu beton terhadap % pengurangan kemampuan daya dukung perkerasan dan % pembayaran.

Pengurangan kemampuan memikul beban akibat penurunan mutu maksimum yang ditolelir sebesar 20% ialah sekitar 50 %, dan pengurangan pembayarannya sebesar 40% dari harga satuan kontrak.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Pengurangan ketebalan pelat dari ketebalan rencana, mempunyai pengaruh yang besar terhadap penurunan kemampuan memikul beban lalu lintas pada perkerasan kaku.
2. Pengurangan ketebalan pelat sampai 25 mm dari ketebalan yang seharusnya 25 cm, menyebabkan penurunan kemampuan perkerasan memikul beban lalu lintas atau umur pelayanan sampai sekitar setengahnya.
3. Penurunan mutu beton pada pelat dari perkerasan kaku, mengakibatkan penurunan yang besar dari kemampuan perkerasan tersebut dalam memikul beban lalu lintas.
4. Penurunan mutu beton (kuat tarik lentur) pada pelat sebesar 20% dari kekuatan rencana, menyebabkan penurunan masa pelayanan perkerasan sampai sekitar setengahnya.
5. Perubahan besar reaksi modulus komposit (k) dari tanah dasar dan lapis pondasi pada perkerasan kaku, mengakibatkan perubahan kemampuan perkerasan dalam memikul beban lalu lintas yang tidak besar.

Saran

1. Perlu dilakukan pengkajian ekonomi terhadap besaran toleransi kekurangan maksimum ketebalan pelat sampai 25 mm dengan pengurangan pembayaran sebesar 50% dari harga satuan kontrak, dikarenakan pengurangan umur perkerasannya mencapai sekitar setengahnya.
2. Perlu pengkajian ekonomi terhadap besaran pengurangan mutu pelat beton sampai 20% dari mutu rencana dengan pengurangan pembayaran sebesar 40% dari harga satuan kontrak, karena pengurangan umur perkerasan mencapai sekitar setengahnya.

Daftar Pustaka

1. AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures; 1993.
2. Annas Ally, Mohamad Ir; Visualisasi konstruksi perkerasan jalan berbasis semen.2001.
3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Kimpraswil; Pedoman Pelaksanaan Perkerasan Jalan Beton Semen; 2003.
4. Spesifikasi khusus; Seksi 7.16; Perkerasan Beton Semen Portland; Lintas Timur Sumatera. Dit Jen Praswil; Departemen Kimpraswil.
5. Spesifikasi Pembangunan jalan Toll, Jasa Marga.

Penulis :

DR. Ir. Furqon Affandi, MSc. Ahli Peneliti Madya, serta kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.



BETON MUTU TINGGI UNTUK KOMPONEN JEMBATAN PRACETAK (HIGH PERFORMANCE CONCRETE FOR PRECAST BRIDGE COMPONENTS)

Ir. Lanneke Tristanto

RINGKASAN

Beton mutu tinggi merupakan 'beton yang memenuhi kriteria kinerja majemuk yang lebih ketat dari persyaratan beton struktural biasa'. Sesuai dengan kondisi di Indonesia, beton mutu tinggi sebagai beton kinerja tinggi High Performance Concrete memerlukan persyaratan khusus untuk kinerja plastis (kemudahan penempatan), cara pemadatan (menghindari rongga), dan keawetan (mencegah korosi tulangan).

Desain gelagar beton mutu tinggi memberi penghematan untuk berat dan dimensi struktur. Di satu segi mengurangi berat sendiri struktur dan di segi lain lendutan bertambah besar. Selain ini diperlukan penulangan lebih banyak berupa tulangan baja dan strand/tendon prategang, sedangkan tempat yang tersedia terbatas. Gabungan antara dua sistem yaitu pra penegangan 'pre-tensioned' yang terjankar oleh ikatan strand dalam beton, dan pasca penegangan 'post-tensioned' yang terjankar oleh ankur tendon dalam end-block menjadi salah satu solusi dalam mengatasi keterbatasan tempat penjangkaran.

Komponen gelagar jembatan beton pracetak umumnya di-produksi sesuai mutu beton karakteristik 40MPa. Desain standar tersebut di-modifikasi dengan beton mutu tinggi 65 MPa yang terjankau secara optimal dengan bahan agregat tersedia. Penerapan beton mutu tinggi dalam industri komponen jembatan pracetak telah dikaji dengan pembuatan dan pengujian gelagar skala penuh, yang merupakan hasil penelitian dari kerjasama antara Puslitbang Prasarana Transportasi dan Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Pracetak di Buntu.

SUMMARY

High strength concrete is 'a concrete with multi performance criterias compared to normal structural concrete requirements'. Indonesian practice for high strength concrete as high performance concrete HPC involves the implementation of special requirements for plasticity (ease of placement), compaction methods (voidage prevention) and durability (reinforcement corrosion prevention).

The design of HPC girders results in efficiency of structural self weight and dimension. On one aspect the self weight of the structure decreases and on another aspect the deflection increases. Besides this, the need for reinforcement increases in the number of steel reinforcing bars and prestressing strands/tendons, while the provided space is limited. A combination of two systems, 'pre-tensioning' strands that are bonded into the concrete, combined with 'post tensioning' tendons that are anchored into end blocks, is one solution to tackle the restricted space for anchorage placement.

Precast standard concrete girders are in general fabricated according to 40 MPa concrete grade. This standard design is modified by using 65 MPa high performance concrete, that is optimal achieved by using the local available aggregate material. The implementation of HPC in the concrete industry has been investigated through the execution and load test verification of a full scale girder, as a joint research between The Institute of Road Engineering and the Project for Supply of Precast Bridge Components in Buntu.

I. PENDAHULUAN

Dalam perencanaan gelagar beton pracetak umumnya digunakan beton dengan kuat tekan karakteristik 35 - 45 MPa. Dengan meningkatkan kuat tekan sekitar dua kali lipat menjadi 65 - 80 MPa dan mempertahankan kemudahan pengerjaan serta kadar semen ekonomis (450 kg/m^3 sampai maksimum 500 kg/m^3), akan diperoleh penghematan dimensi struktur.

Perpanjangan bentang akibat peningkatan mutu beton berada antara 12-15% dan penghematan berat sendiri gelagar berada antara 18-23%. Hasil kajian dalam negeri ternyata mendekati bila dibandingkan dengan penelitian di luar negeri dimana bentang dapat ditingkatkan 17% dan penghematan berat sendiri sebesar 24%.

Gelagar percontohan skala penuh mencakup aspek berikut :

- Perencanaan campuran beton mutu tinggi untuk *kekuatan dan tingkat pengerjaan* optimal dengan bahan yang tersedia di lapangan : kekuatan tekan karakteristik 65 MPa, kemudahan pengerjaan dengan slump 8-10 cm. Berdasarkan percobaan dan pengujian, kuat tekan beton mutu tinggi target telah mencapai 75 MPa yang dengan deviasi kemungkinan cacat 1% menjadi 65 MPa untuk nilai kuat tekan karakteristik
- Perencanaan gelagar beton prategang tipe I komposit dengan *kombinasi sistem pra dan pasca penegangan (pre & post tensioned)* : mengatasi tempat angkur yang terbatas serta meningkatkan lawan lendut

- Pembuatan gelagar beton prategang dengan bentang 22m serta *mempertahankan dimensi* dari bentang 19m (tinggi gelagar I sebesar 90 cm, mutu beton dalam rencana standar adalah 40 MPa) : tinggi gelagar I sebesar 90 cm untuk mutu beton 65 MPa dapat mencapai bentang 22m
- Pembuatan *portal pengujian* untuk percobaan pembebanan skala penuh dengan memanfaatkan pondasi 'stressing bed' di pabrik komponen jembatan beton pracetak Buntu
- Pengujian gelagar percontohan di pabrik beton pracetak dengan cara pembebanan statis untuk verifikasi *kekuatan batas retak (beban retak) dan kekuatan batas ultimit (beban ultimit)*.

II. GELAGAR BETON PRACETAK

Gelagar I dari proyek pengadaan komponen jembatan pracetak terdapat dalam lima tipe untuk mutu beton 40 MPa (Tabel 1, Gambar 1) sebagai berikut :

- Bentang L = 13,6m – 25,6m dengan tinggi gelagar 90-125 cm
- Bentang L = 25,6m - 31,6m dengan tinggi gelagar 160 cm
- Bentang L = 35,6m – 40,6m dengan tinggi gelagar 170 cm

Dimensi gelagar dapat diperhemat dengan peningkatan mutu beton dari 40 MPa ke 65 MPa (Tabel 1, Gambar 1,2 &3) sebagai berikut :

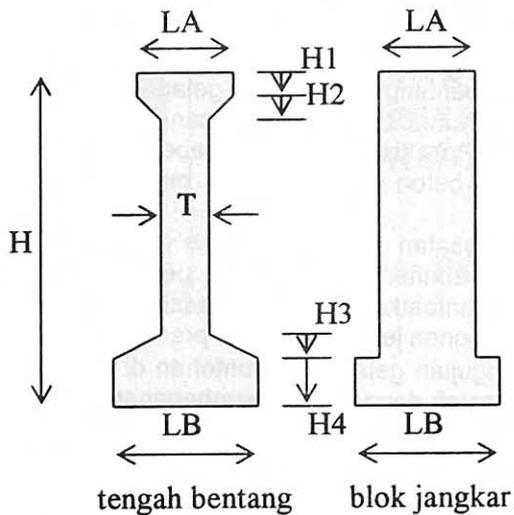
- dimensi gelagar bentang 19,6m untuk bentang 22,6m (tinggi gelagar 90 cm)
- dimensi gelagar bentang 25,6m untuk bentang 28,6m (tinggi gelagar 125 cm)
- dimensi gelagar bentang 31,6m untuk bentang 35,6m (tinggi gelagar 160 cm)

Tabel 1.
STANDAR GELAGAR I BETON PRACETAK SISTEM PASCA PENEGANGAN
(MUTU BETON 40 MPa)

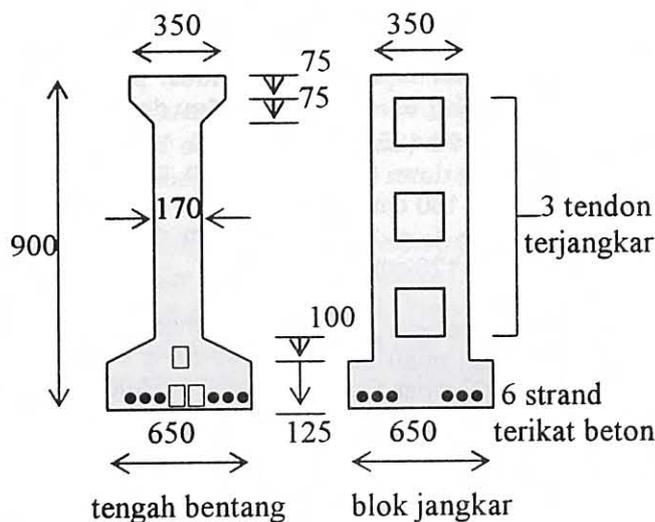
Tipe	Bentang m	H mm	H1 mm	H2 mm	H3 mm	H4 mm	T mm	LA mm	LB mm	Volume m ³	Berat ton	Tendon (nomor)	
												BM100	BMS 1992
I	13,6	900	75	75	100	125	170	350	650	3,52	8,80	2x6	2x6
	16,6	900	75	75	100	125	170	350	650	4,25	10,63	3x6	2x6+1x7
	19,6	900	75	75	100	125	170	350	650	4,99	12,48	3x7	
II	19,6	1250	75	75	100	125	170	350	650	6,56	16,40		3x7
	22,6	1250	75	75	100	125	170	350	650	7,51	18,78	3x7	3x7+1x4
	25,6	1250	75	75	100	125	170	350	650	8,46	21,15	4x7	4x7
III	25,6	1600	125	75	100	225	180	550	650	13,69	34,23		3x7+1x6+1x3
	28,6	1600	125	75	100	225	180	550	650	15,14	37,85	5x7	3x7+3x6
	31,6	1600	125	75	100	225	180	550	650	16,42	41,05	6x7	6x7
IV	35,6	1700	225	75	100	225	180	550	650	22,50	56,25		6x7+1x5
V	40,6	1700	225	75	100	225	180	550	650	24,47	61,18		2x19+2x12

Tipe I,II,III : jarak antara sumbu gelagar 185 cm

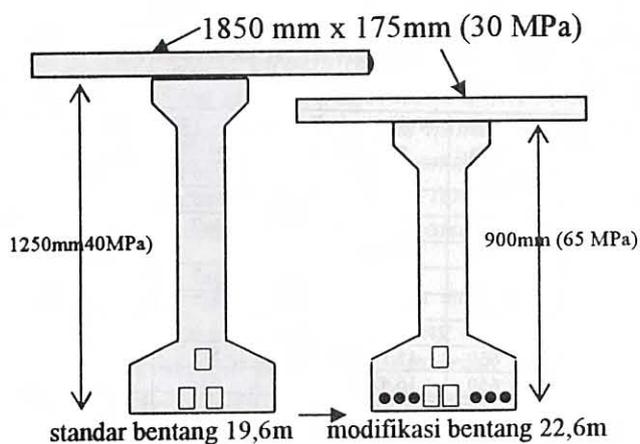
Tipe V : jarak antara sumbu gelagar 144 cm



Gambar 1. Penampang standar gelagar I beton pracetak



Gambar 2. Gelagar beton mutu tinggi (6 strand & 3 tendon @ 7 strand), bentang 22,6m



Gambar 3. Penghematan dimensi pada peningkatan bentang 19,6m ke 22,6m

III. MATERIAL BETON MUTU TINGGI

2.1. Beton Mutu Tinggi Optimal

Beton mutu tinggi dapat dibuat sampai mencapai kuat tekan 100MPa. Walaupun kekuatan beton dapat ditingkatkan secara teoritis, namun dalam praktek pelaksanaan terdapat pertimbangan teknis sebagai berikut :

- Kuat tekan beton tergantung pada mutu pasta yang teoritis dapat ditingkatkan, tetapi didukung oleh mutu agregat yang dalam praktek harus disesuaikan dengan bahan setempat
- Kuat tekan beton yang meningkat umumnya diikuti dengan kemudahan pengerjaan yang berkurang, desain memerlukan kekuatan sedangkan praktek pelaksanaan memerlukan kemudahan pengerjaan
- Kuat tekan yang tinggi menghemat dimensi struktur yang secara teoritis membuat struktur lebih fleksibel berarti lendutan dalam praktek menjadi lebih besar
- Dimensi yang hemat akan mengurangi berat sendiri struktur tetapi dalam praktek diperlukan ruang agar pemasangan tulangan dan tendon tidak terlalu rapat

Beton mutu tinggi optimal untuk komponen jembatan adalah 65-75MPa dengan mana tercapai keuntungan secara seimbang untuk desain dan pelaksanaan.

3.2. Komposisi Campuran Beton Mutu Tinggi

Pembuatan beton mutu tinggi dengan menggunakan agregat setempat serta mempertahankan kemudahan pengerjaan pelaksanaan, menghasilkan kuat tekan target 75,3 MPa yang berarti kuat tekan karakteristik untuk desain adalah 65 MPa – Tabel 2.

Tabel 2.
HASIL PEMERIKSAAN AGREGAT DAN
KOMPOSISI CAMPURAN BETON MUTU TINGGI

Butir pengujian	Hasil pengujian	Catatan
1. Pengujian agregat kasar		Sumber : Buntu
a. analisis saringan , % melalui saringan :	100	
1"	93	
¾"	4	
3/8"	0,2	
no.4	0	
no.8	7,03	
b. modulus kehalusan	2,86	
c. berat jenis semu	2,69	
d. berat jenis dasar kering	2,75	
e. berat jenis dasar jenuh kering permukaan	2,26	
f. peresapan (%)	1,48	
g. berat isi lepas (1/m kubik)	1,58	
h. berat isi padat (1/m kubik)	16,9	
i. nilai abrasi	16,8	
j. nilai crushing	0,1	
k. lolos saringan no. 200		

2. Pengujian agregat halus		Sumber : Buntu
a. analisis saringan , % melalui saringan :		
3/4"	100	
3/8"	99,13	
no.4	94	
no.8	85,3	
no.16	70,76	
no. 30	45,8	
no. 50	16,09	
no.100	3,27	
no.200	0,41	
b. modulus kehalusan	2,86	
c. berat jenis semu	2,85	
d. berat jenis dasar kering	2,64	
e. berat jenis dasar jenuh kering permukaan	2,72	
f. peresapan (%)	2,71	
g. berat isi lepas (1/m kubik)	1,42	
h. berat isi padat (1/m kubik)	1,56	
3. Komposisi campuran (per m kubik)		
a. air (kg)	162	
b. semen (kg)	475	
c. abu terbang (kg)	119	
d. agregat halus (kg)	745	
e. agregat kasar (kg)	892	
f. bahan tambah : plasticizer (kg)	9,5	
g. udara (%)	2	
h. slump (mm)	90	
i. bobot (1/m kubik)	2,32	
j. kuat tekan beton		
umur 7 hari (MPa)	50,4	
umur 14 hari (MPa)	61	
umur 28 hari (MPa)	75,3	

Percobaan campuran beton yang dibuat dalam skala kecil di laboratorium kemudian di-uji-coba dalam skala batching plant, dan dibuktikan dalam pelaksanaan pembuatan gelagar.

IV. EKSPERIMEN BETON MUTU TINGGI

4.1. Ringkasan Data Material

Penelitian aplikasi beton mutu tinggi untuk gelagar beton prategang pracetak menghasilkan data dan masukan sebagai berikut :

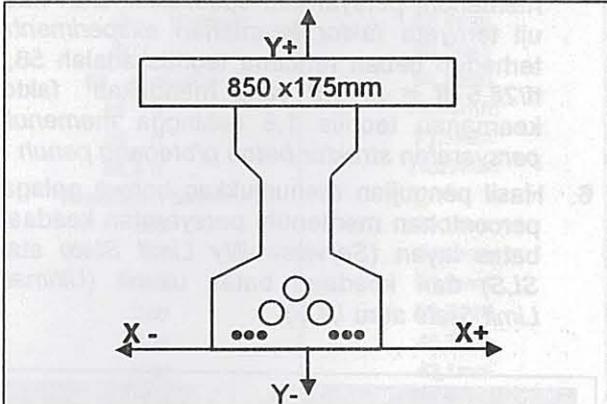
- Kondisi agregat setempat memerlukan kadar semen agak besar (475 kg/m^3) untuk mencapai kuat tekan karakteristik 65 MPa (kuat tekan target 75,3 MPa)
- Mutu beton 65 MPa memenuhi kekuatan dan masih daktail berarti tidak getas
- Peningkatan mutu dan tingkat pengerjaan beton dipacu dengan bahan pengisi berupa abu terbang
- Abu silika tidak dianjurkan untuk produksi beton mutu tinggi karena kepekatan beton segar mempersulit transportasi, penempatan dan pematatan beton
- Tingkat pengerjaan beton segar guna penempatan dan pematatan yang baik dengan transportasi talang berjalan adalah slump 90 mm rata-rata (80-100mm)
- Pelaksanaan pembuatan gelagar menggunakan batching plant yang mewakili skala produksi yang sebenarnya
- Gelagar beton prategang mutu tinggi memanfaatkan mutu tinggi dari beton maupun dari strand prategang.

4.2 Pelaksanaan Gelagar Beton Mutu Tinggi

Model skala penuh berupa gelagar tipe I komposit dengan bentang 22,6m dilaksanakan di pabrik komponen pracetak jembatan – Buntu. Evaluasi terhadap pelaksanaan produksi gelagar beton mutu tinggi yang dibuat dan di-uji-coba di lingkungan ke-PU-an adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan gelagar untuk model skala penuh dibuat dengan kombinasi sistem pra (6 strand @ diameter 12,5mm yang ditarik pada umur beton 7 hari) dan pasca penegangan (3 tendon @ 7 strand diameter 12,5mm yang ditarik pada umur beton 28 hari) – Gambar 4 dan 5. Selama prosedur penegangan (*stressing*) berlangsung diadakan pengukuran lawan lendutan - Tabel 3. Lawan lendutan teoritis akibat strand dan tendon adalah +6,31 cm. Lendutan gelagar akibat berat sendiri adalah -2,39 cm. Sehingga lawan lendutan total pada akhir pekerjaan penegangan adalah teoritis $6,31 - 2,39 = +3,92 \text{ cm}$. *Lawan lendutan teoritis* ternyata $39,2 \text{ mm}$ terhadap *lawan lendutan terukur* $47,25 \text{ mm}$, berarti 20% lebih tinggi yang berada dalam batas toleransi, sehingga pengujian lawan lendutan akibat penegangan strand dan tendon memenuhi persyaratan analisis.

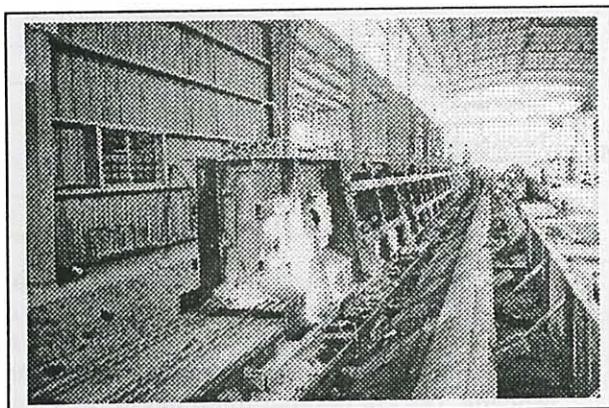
Tabel 3.
LAWAN LENDUTAN GELAGAR
PERCONTOHAN SETELAH PENEGANGAN
STRAND DAN TENDON



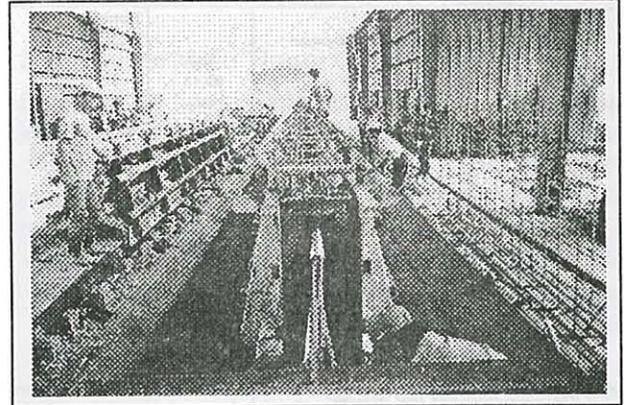
Strand pra-penegangan (90 tonf)	Arah Y 15 mm	Arah X 0
Tendon tengah (105 tonf)	Arah Y 10,95 mm	Arah X -5,32mm
Tendon bawah (105 tonf)	Arah Y 15 mm	Arah X 5,55 mm
Tendon atas (105 tonf)	Arah Y 6,3 mm	Arah X -0,4mm
Lawan lendutan total :	Arah Y 47,25 mm	Arah X -0,17mm-0

2. Setelah tendon pasca-penegangan di-graut maka di hari berikutnya diadakan pengecoran *lantai komposit* dengan beton mutu tinggi 65 MPa selebar *flens* 85 cm yang mewakili *flens rencana* 185 cm dengan mutu beton 30 MPa – Gambar 6. Dengan demikian pemodelan gelagar mewakili struktur sebenarnya.

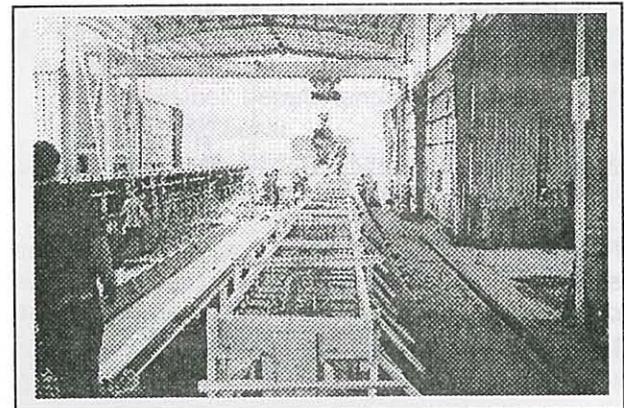
3. Dalam rangka pengujian gelagar dibuat rangka uji di pabrik beton pracetak Buntu yang merupakan lanjutan kerjasama antara Pustran, Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Pracetak Buntu dan PU Pusat Jakarta. Besar *beban maksimum* di tengah bentang untuk menguji kekuatan ultimit runtuh teoritis gelagar adalah 700 kN, dengan demikian *rangka uji* harus memiliki kapasitas minimum $125\% \times 700 = 875 \text{ kN}$.
4. Percobaan pembebanan dilakukan pada gelagar I komposit secara statis – Gambar 7 - dengan kenaikan beban sebesar 1 ton setiap kali, sehingga terukur *beban rencana (utuh tidak retak)* dan *beban awal retak tarik (regangan tarik 15.10^{-5})* yang mewakili *momen retak (cracking moment)*. *Retak lentur awal* terjadi pada *beban 45 tf yaitu 158 % beban rencana* atau 92 % *beban ultimit rencana*. Pembebanan berhasil ditingkatkan 10% diatas beban ultimit rencana (70% *beban ultimit runtuh teoritis*), jadi sampai $56,5 \text{ tf} = 80\% \text{ beban ultimit runtuh teoritis}$ ($70\text{tf} = 700\text{kN}$), dan tidak terjadi keruntuhan pada pengujian.
5. Faktor keamanan eksperimental harus berdekatan dengan faktor keamanan teoritis agar sesuai persyaratan spesifikasi. Kekuatan rencana teoritis adalah kekuatan ultimit yang dibagi oleh *faktor keamanan teoritis 1,8@2,5*. Hasil uji harus memberikan *faktor keamanan (fk) eksperimental maksimal 2,5* agar memenuhi persyaratan spesifikasi. Dari hasil uji ternyata *faktor keamanan eksperimental terhadap beban rencana teoritis* adalah $56,5 \text{ tf} / 28,5 \text{ tf} = \text{fk } 1,9$ yang mendekati faktor keamanan teoritis 1,8 sehingga *memenuhi persyaratan struktur beton prategang penuh*.
6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa gelagar percontohan memenuhi persyaratan keadaan batas layan (*Serviceability Limit State* atau *SLS*) dan keadaan batas ultimit (*Ultimate Limit State* atau *ULS*).



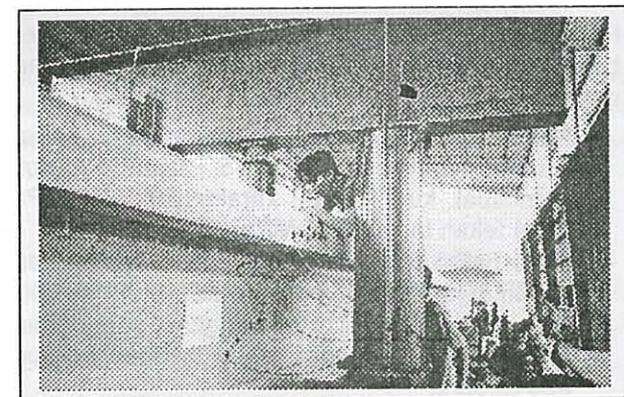
Gambar 4. Sistem pra-penegangan (*pretensioned*)



Gambar 5. Sistem pasca-penegangan (*post-tensioned*)



Gambar 6. Pembuatan lantai komposit



Gambar 7. Pengujian gelagar percontohan beton mutu tinggi

4.3. Uji Beban Gelagar Percontohan Beton Mutu Tinggi
Uji beban telah dilakukan secara eksperimental teoritis dengan uraian sebagai berikut :

1. Modulus elastisitas beton mutu tinggi 65 MPa adalah teoritis $E = 36000 \text{ MPa}$ yang memberikan rumus lendutan tengah bentang teoritis $1,03 P (tf) = \Delta \text{ mm}$. Dalam eksperimen lendutan ternyata lebih besar 17% sehingga sesuai dengan rumus $1,206 P (tf)$. Kesimpulan

modulus elastisitas E hasil eksperimen adalah 30750 MPa untuk kondisi elastis. Pada pencapaian beban diatas batas ultimit 56,5 tf terjadi penurunan modulus elastisitas E, berarti mutu beton menurun akibat retakan struktural menjadi kondisi plastis dengan $E = 27930$ MPa. Pada pencapaian beban ultimit rencana 49 tf tidak terjadi penurunan modulus elastisitas E karena mutu beton bertahan utuh. Pengujian menunjukkan bahwa kapasitas keadaan batas layan SLS dan ultimit ULS secara eksperimental memenuhi perhitungan perencanaan teoritis.

Tabel 4.

BEBAN UJI VS LENDUTAN TENGAH BENTANG

Beban uji (tf)	Lendutan (mm)	$\Delta=1,03 P$ mm E=36000MPa	$\Delta=1,206 P$ mm E=30750 MPa	E uji beban MPa
28,5 tf rencana	34,4mm	29mm	34,4mm	30750 elastis
45 tf retak	53,5mm	46,4mm	54,3mm	31213 elastis
49 tf ultimit	58,9mm	50,5mm	59,1mm	30870 elastis
53 tf	65,3mm	54,6mm	63,9mm	30118 plastis
55 tf	70,05mm	56,7mm	66,33mm	29135 plastis
56 tf	71,3mm	57,7mm	67,5mm	29145 plastis
56,5 tf	75,07mm	58,2mm	68,1mm	27929 plastis

2. Pada pencapaian beban uji *didasar ultimit (56,5tf)* tidak terdapat retakan geser, dan retakan lentur terbatas dalam daerah sepanjang ~1,5m di tengah bentang, dengan ketinggian retakan dibawah garis netral penampang komposit. Berarti retakan berada dalam daerah tarik dimana regangan tarik beton terlampaui. Regangan tarik beton 15×10^{-5} adalah batas kemampuan tarik beton tanpa tulangan dan bila regangan lebih besar maka akan dipikul oleh tulangan. Retak lentur awal dalam pengujian beban telah terjadi pada regangan tarik 63×10^{-5} - Tabel 5.

Tabel 5.

BEBAN UJI VS REGANGAN TARIK TENGAH BENTANG GELAGAR

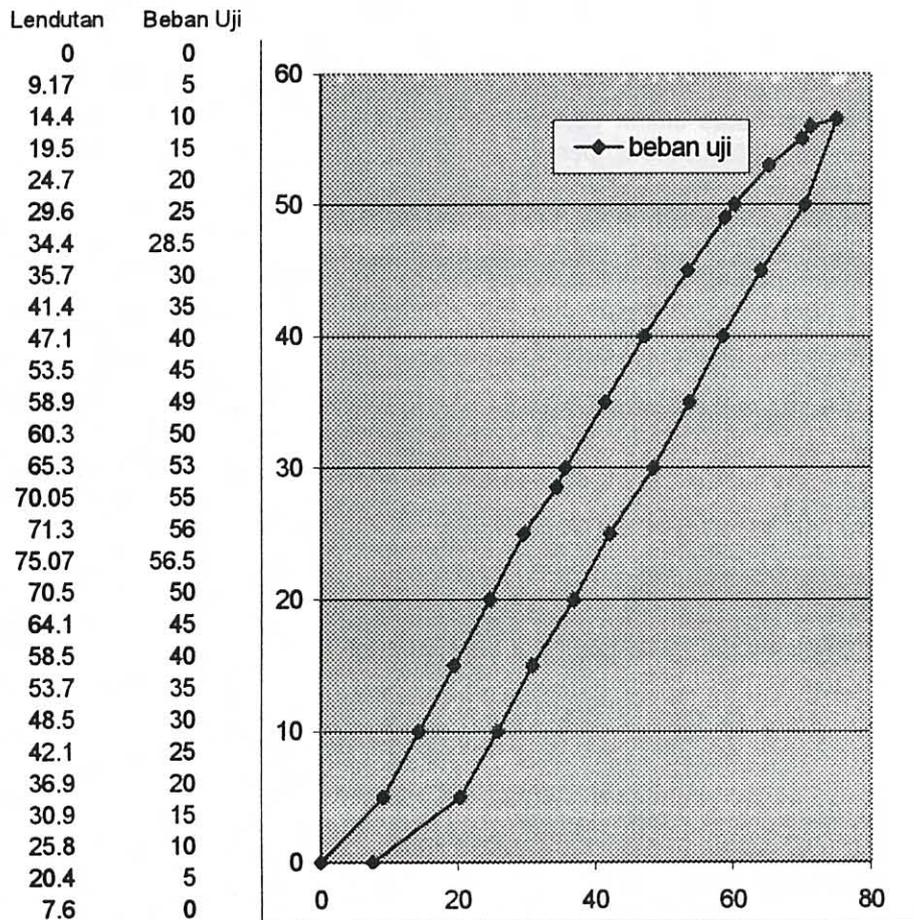
Beban uji	Regangan tarik tepi bawah gelagar
28,5 tf beban rencana	$44,3 \times 10^{-5}$ utuh
45 tf beban retak awal	63×10^{-5} retak rambut
49 tf beban ultimit rencana	$59,1 \times 10^{-5}$
53 tf	$59,1 \times 10^{-5}$
55 tf	295×10^{-5}
56,5 tf	371×10^{-5} lebar retak 0,2mm

3. Regangan tekan beton di tepi atas penampang komposit pada beban ultimit rencana (49 tf) terukur sebesar $86,7 \times 10^{-5}$ (~ 27 MPa $\sim 0,4 f_c'$ $\sim 0,4 \times 65$ MPa). Pada beban 56,5 tf terjadi regangan tekan $104,4 \times 10^{-5}$ (~ 29 MPa $\sim 0,44 f_c'$) di tepi atas penampang komposit. Di daerah tekan belum terjadi regangan batas ultimit runtuh 2,5 per mil yang diperkirakan akan terjadi pada beban 70 tf. Dalam pengujian ini terukur regangan tekan sebesar 1,04 per mil pada beban uji maksimum tercapai sebesar 56,5 tf.
4. Hubungan beban uji terhadap lendutan tengah bentang dijelaskan secara grafis dalam Tabel 6 dan Gambar 8.

Tabel 6.

BEBAN UJI VS LENDUTAN TENGAH BENTANG

Beban uji (tf)	Lendutan (mm)
Kenaikan beban :	
5tf	9,17mm
10tf	14,4mm
15tf	19,5mm
20tf	24,7mm
25tf	29,6mm
28,5 tf rencana	34,4mm
30tf	35,7mm
35tf	41,4mm
40tf	47,1mm
45 tf retak	53,5mm
49 tf ultimit	58,9mm
50tf	60,3mm
53 tf plastis	65,3mm
55 tf "	70,05mm
56 tf "	71,3mm
56,5 tf "	75,07mm
Penurunan beban :	
50tf	70,5mm
45tf	64,1mm
40tf	58,5mm
35tf	53,7mm
30tf	48,5mm
25tf	42,1mm
20tf	36,9mm
15tf	30,9mm
10tf	25,8mm
5tf	20,4mm
0tf	7,6mm



Gambar 8. Grafik beban uji (tonf) vs lendutan tengah bentang (mm)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian beton mutu tinggi dalam aplikasi di pelaksanaan produksi telah menghasilkan kesimpulan berikut :

1. Penerapan beton mutu tinggi menghemat berat sendiri jembatan sehingga menghemat bangunan atas, bangunan bawah dan pondasi jembatan
2. Fleksibilitas struktur beton mutu tinggi tidak berlebih bila digunakan mutu beton 65-75MPa yang juga mungkin terlaksana dengan agregat yang umum tersedia di lapangan
3. Perhitungan/analisis struktur beton mutu tinggi 65-75 MPa dapat dilakukan dengan cara SLS dan ULS yang lajim berlaku untuk mutu beton 50 MPa sesuai peraturan SKSNI beton struktural
4. Penghematan berat sendiri beton dalam reduksi dimensi gelagar pada penggunaan beton mutu tinggi 65MPa adalah 20% terhadap penggunaan beton mutu 40 MPa.

5. Peningkatan bentang mencapai 20 % bila dimensi gelagar dengan mutu beton 40 MPa diterapkan pada mutu beton 65 MPa.
6. Hasil pengujian gelagar percontohan dengan bentang 22,6m menunjukkan kapasitas daya layan dan ultimit yang sesuai persyaratan perencanaan
7. Pabrik beton pracetak adalah lokasi tepat guna untuk produksi, pengujian dan pemasaran komponen struktur jembatan dari beton mutu tinggi

5.2 Saran

Beberapa saran yang perlu disampaikan adalah sebagai berikut :

1. Perluasan desain gelagar beton mutu tinggi pracetak untuk berbagai tipe gelagar monolitik dan segmental dengan bentang 16 - 35m serta untuk tipe pelat berongga dengan bentang 10-15m.
2. Penyuluhan penggunaan beton mutu tinggi perlu dibina dalam meningkatkan teknologi pelaksanaan, produksi dan cara-cara pengujian komponen struktur jembatan

3. Kerjasama antara badan penelitian, produsen dan pengguna komponen jembatan beton mutu tinggi perlu ditingkatkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Analysis and Design of Reinforced Concrete Structures – Report ACI Committee 343
2. High Performance Concrete - Proceedings ACI International Conference, 1994, Singapore
3. Prestressed Concrete Bridges – Indonesian Australian Concrete Bridge Project – Construction Drawings and Details
4. Peraturan beban – BMS – 1992
5. Peraturan perencanaan beton struktural – BMS – 1992
6. Rangkaian penelitian beton mutu tinggi – 1995 - Laporan Pustran – J. Dachtar
7. Structural Concrete - Theory and its application – 1991 - ASG Bruggeling – Balkema Publishers Brookfield USA.

Penulis :

Ir. Lanneke Tristanto, Ahli Peneliti Muda, pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil



THE CRITICAL AND AVERAGE STATIC CONTACT STRESS

Siegfried

RINGKASAN

Dalam perencanaan perkerasan menggunakan metoda analitis, salah satu parameter yang digunakan adalah tegangan kontak antara permukaan jalan dengan ban kendaraan. Pada umumnya metoda analitis mengasumsikan bahwa tegangan kontak adalah seragam sepanjang luas kontak dan besarnya sama dengan beban dibagi dengan luas kontak. Tegangan kontak kritis adalah tegangan yang terjadi apabila hanya ada satu chipping didalam luas kontak, sedangkan tegangan kontak rata-rata merupakan tegangan kontak yang terjadi pada pusat luas kontak dimana didalam luas kontak terdapat beberapa chipping. Percobaan dilakukan untuk mengukur tegangan kontak kritis dan tegangan kontak rata-rata dengan berbagai variasi beban, tekanan ban, dan tinggi chipping. Didapat bahwa tegangan kontak kritis jauh lebih besar dari tegangan kontak rata-rata. Selain itu sumbangan tekanan ban juga sangat signifikan terhadap tegangan kontak dibandingkan dengan beban. Tulisan ini menerangkan secara detail mengenai tegangan kontak kritis dan tegangan kontak rata-rata yang diukur secara statis.

SUMMARY

In analytical pavement design the contact stress is one parameter needed as input. The common analytical pavement design assumes uniform along the contact area where its value equals to load applied divided by the contact area. The critical contact stress means the stress where there is only one single chipping on the contact area, while the average contact stress is the stress occurs in the centre of it with full chippings. Experiment has been done to determine the critical and the average contact stress in several variations of contact characteristics such as tyre inflation pressure, load and height of chipping. It was found that the critical contact stress is much higher than that of average contact stress. The other finding is that the contribution of tyre inflation pressure is more significant than that of load. This paper describes in details the critical and average contact stress which were measured by static approach.

I. INTRODUCTION

The contact stress and the contact area are the significant factors in pavement design especially in analytical pavement design method besides some other factors such as pavement system, traffic and environment. The contact stress is the stress generated on the interfacial layer between tyre and road surface during the contact process.

The existence of contact stress on the surface results the stress / strain in any point on the pavement structure. This can be explained through the knowledge of engineering mechanics particularly on the topic of load on the uniform

elastic foundation. The repetition of horizontal tensile strain on the bottom of asphalt layer causes cracks which propagate to the top and well known as fatigue cracks. While the repetition of vertical compressive stress on the top of sub grade layer causes the permanent deformation of the whole asphalt structure. These two types of failure are the main consideration factors in designing pavement based on analytical approach.

Globally there are two types of contact stress namely dynamic and static contact stress. The dynamic contact stress is obtained through the dynamic experiment where the contact stress is recorded during a vehicle passing the experiment

tools in certain speed. On contrary the static contact stress is observed in the static basis and usually has a special load frame connected to load cell and a hydraulic jack which has ability to simulate loads. The special axle is designed to use with car and lorry tyre.

In the present research the experiment is carried out in the static basis. To measure the contact stress it is needed a transducer which has the shape of beam with a cantilever. The strain gauges are used to record the magnitude and direction of contact stress generated. It is required 6 strain gauges because one direction needs two of them. However in this test due to the static basis it is only z direction considered. During the test the transducer is put underneath the tyre which is covered by a transducer cap with a hole for transducer cantilever that can be set to simulate the height of chipping.

The term of 'critical' means that it is a critical condition which probably happens on the asphalt surface due to single chipping on the contact area. This condition can be simulated by putting only one chipping (hence one transducer) during experiment. While the term of 'average' is obtained when the transducer located in the center of contact area where some dummy chipping beyond it. This is intended to simulate the real condition of asphalt surface.

In this test there are two types of tyre investigated i.e. car and lorry tyres. A variation of tyre inflation pressure, loads and height of chipping are applied. The readings of contact pressure taken by strain gauge are in voltage format. A short program written in Quick Basic and run in Lab Windows environment is required to convert it into binary data. To correlate those values to the real contact stress it is also needed a calibration process.

2. METHOD OF EXPERIMENT

2.1 The load frame, the load cell and the hydraulic jack

The load frame is about 2.5 meter high and fixed to the ground. It is connected to load cell and hydraulic jack which has ability to simulate load up to 100 kN. The special axle is needed to use it with car and lorry tyre.

2.2 The transducer, the transducer cap and the dummy chippings

The transducer is a beam with cantilever as schematically seen in Figure 1. The value of vertical contact stress is indicated by the deflection happens in the main bar. While the direction and value of radial stress is shown by the deflections of

cantilever. Due to static basis in this test it is only vertical contact stress observed.

During the experiment the transducer is located underneath the tyre and covered by transducer cap which has hole for the space of cantilever. This transducer cap can be set to simulate the height of chipping.

The dummy chippings are made from the piece of steel with size of 0.5 x 0.5 cm² area and different height such as 1 mm, 3 mm and 5 mm. These dummy chippings are glued using epoxy mastic resin to the transducer cap in order to simulate the real condition of pavement surface.

2.3 The critical and average contact stresses

To obtain the critical value of contact stress a single transducer (hence assumed as single chipping) is put in the center of contact area. Refer to the actual permanent surface it can be assumed as the critical condition which possibly exists on the real pavement surface where there is only one single chipping on the whole contact area.

The centre contact stress is simulated by putting the transducer (hence assumed as a chipping) in the center of contact area where it is believed as the position of maximum contact stress as observed by some researchers [1,2] and it is accompanied by some dummy chippings beyond it. These dummy chippings are glued to the transducer cap using the epoxy mastic resin. The choice of dummy chipping height depends on which type of test being carried out.

III. THE CALIBRATION OF STRAIN GAUGE

The calibration is needed to see the relationship between strain gauge reading and the load being applied. The calibration is done only for the vertical contact stress. There are 8 loads applied as follows :

load (kg)	Reading.
0	-1.37951
0.25	-1.37358
0.75	-1.37185
1.25	-1.35655
2.25	-1.33819
4.25	-1.30802
7.25	-1.19933
10.25	-1.15424
13.25	-1.10472

The relationship for this calibration is :

$$\text{load} = -45.11541 \text{ Reading} + 62.4706$$

$$r^2 = 0.9869$$

It is noted that during experiment, it is needed to record zero reading, because in the mechanism of strain gauge the assumption taken is that the changes of resistance due to the load follows the linear relationship.

IV. VARIATION OF CRITICAL CONTACT STRESS WITH HEIGHT OF CHIPPING

The experiment is carried out for both car and lorry tyres. The heights of chipping chosen are 0 mm, 1 mm, 3 mm and 5 mm. For the car tyre the load is varied from 1.5 kN, 2.0 kN, 2.5 kN, 3.0 kN, 3.5 kN and 4.0 kN and the tyre inflation pressures of 103.5 kPa, 138 kPa, 172.5 kPa and 207 kPa. For the lorry tyre the load applied is 10 kN, 12 kN, 14 kN, 16 kN, 18 kN and 20 kN and the tyre inflation pressures of 276 kPa, 345 kPa, 414 kPa, 483 kPa, 552 kPa and 621 kPa. The summary of results can be seen in Table 1 and Table 2 below.

It is clearly seen that the critical vertical contact stress increases sharply with the increase in the height of chipping. The influence of loads seems not too significant as indicated by the range of critical contact stress value at the same tyre inflation pressure and height of chipping but different loads. Another thing that can be drawn is that the tyre inflation pressure is a moderately significant factor in affecting the critical contact stress.

V. VARIATION OF AVERAGE CONTACT STRESS WITH THE HEIGHT OF CHIPPING

This test is also done for both car and lorry tyres. The height of chipping is varied from 1 mm, 3 mm and 5 mm. The loads and tyre inflation pressures are taken as same as point 4 earlier for car and lorry tyres.

The transducer is put in the center of contact area and some dummy chippings are glued beyond it. The distance of dummy chipping is about 2 mm between each other. Even though the position of actual chipping on the pavement surface is random, but this configuration is hoped can express the real condition of pavement surface. The results of experiment are shown in Table 3 and Table 4 below.

Based on the results above (Tables 3 and 4) it can be said that the variation of average contact stress is quite strong with the changes of load as shown by the range of its value at the constant tyre inflation pressure and the height of chipping.

The average contact stress is also much lower when comparing it to the critical ones. It is easily understood because in the case of maximum contact stress there are so many chippings that transfer load from the tyre. In other word the load from tyre spreads out to some chipping in maximum condition other than one single chipping in the critical case.

VI. THE MATHEMATICAL FORMULA

It is tried to create some mathematical formulations between contact stress and its influencing factors such as tyre inflation pressure, load and the height of chipping. This is done for both car and lorry tyres.

For car tyre on the critical condition there are 96 data configurations which consist of 4 types of tyre inflation pressure, 6 types of load and 4 types of chipping height. Using the SPSS package program it is obtained a simple equation as follows :

$$\sigma_v = 7.0143 p_i + 6.7025 p + 200.6660 h - 1138.0647$$

$$r^2 = 0.7624$$

Where :

σ_v = vertical contact stress (kPa)

p_i = tyre inflation pressure (kPa)

p = load (kN)

h = height of chipping (mm)

There are 144 data configurations for lorry tyre in the critical condition which consist of 6 types of tyre inflation pressure, 6 types of load and 4 types of chipping height. The equation as follows :

$$\sigma_v = 3.2664 p_i + 35.5143 p + 1433.3531h - 533.6377$$

$$r^2 = 0.9821$$

In average condition the car tyre has 72 data configurations i.e. 4 types of tyre inflation pressure, 6 types of load and 3 types of chipping heights. It gives the following equation :

$$\sigma_v = 4.1966 p_i + 96.0635 p + 178.1667 h - 1114.8497$$

$$r^2 = 0.8978$$

And average are 108 data configurations for lorry tyre in this condition i.e. 6 types of tyre inflation pressure, 6 types of load and 3 types of chipping height. The equation is as follows :

$$\sigma_v = 2.8043 p_i + 43.6429 p + 105.5833 h - 430.8790$$

$$r^2 = 0.8568$$

It can be said that the regression equations give good relation between σ_v and the other factors (p_i , p and h) as indicated by their coefficient correlations (r^2).

VII. DISCUSSION

As shown on the results the values of average contact stress are much lower than the critical ones because in the case of this condition there are so many chippings which transfer load from the tyre. This is the real condition of pavement surface.

However, the critical values is still needed to know for the upper limit input for design purposes and the values of average contact stress can be taken as the lower limit. In other words, the range of critical and centre values should be clearly understood. Some adjustment should be made in choosing the input value by considering other factors which possibly influence the real condition of pavement surface such as environment and condition of surface (wet and/or dusty) which are not covered during the experiment.

It is obvious that the changes in chipping height influence the contact stress significantly. From this point of view it can be suggested that care must be taken when designing the chipping height. It must be considered between the requirement of texture depth and the stress generated. The more depth texture which gives the good skid resistance the more stress generated which results the shorter life time of pavement structure.

From the results of both car and lorry tyres it seems that the contributions of tyre inflation pressure to contact stress is more significant than that of load. In implication, this gives a good idea for the researchers who are working in the heavy loaded traffic that the limitation of tyre inflation pressure is more important than that of load.

The equations created can be used directly as input for pavement analysis. For design purposes the lorry tyre equations should be chosen because the

standard axle philosophy based on commercial vehicle tyre. The value of standard contact stress should be taken in the range of critical and average values by considering some factors which possibly influence the real condition of asphalt surface.

VIII. CONCLUSIONS

There are some points can be drawn such as :

- a. The critical values of contact stress are much higher than that of centre values.
- b. The changes in the height of chipping influence the contact stress in both critical and centre conditions significantly.
- c. The contribution of tyre inflation pressure is more significant than that of load.
- d. Some equations relating contact stress to tyre inflation pressure, load and the height of chipping have been created.

REFERENCES

1. Guo Xin Liu. *The area and stresses of contact between tyres and road surface and their effects on road surface*. D.Phil Thesis, University of Ulster, 1993.
2. Savkoor AR, Pacejka HB. *Tyre property and rolling characteristics on dry and wet roads*. Proceeding of 8-th IAVSD-Symposium, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, August 15-19, 1983.

Writer :

Siegfried, Staf Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.

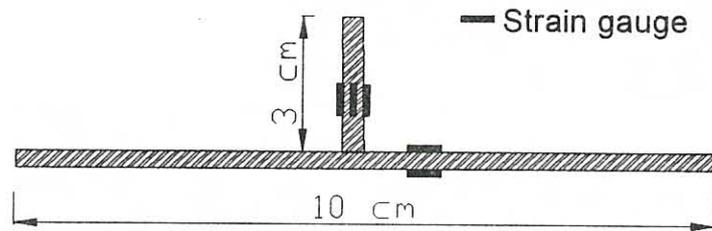


Figure 1. The schematic of transducer and location of strain gauges

Table 1.
Variation critical contact stress with height of chipping for car tyre

h(mm)	σ_v (kPa)			
	pi=103.5 kPa	pi=138kPa	pi=172.5kPa	pi=207kPa
0	164-221	190-258	238-261	245-279
1	220-251	302-347	402-421	410-413
3	291-298	376-393	477-526	703-662
5	609-613	738-747	1183-1208	1700-1746

Pi = tyre inflation pressure
 σ_v = contact stress

Table 2.
Variation of critical contact stress with height of chipping for lorry tyre

h(mm)	σ_v (kPa)					
	pi=276kPa	pi=345kPa	pi=414kPa	pi=483kPa	pi=552kPa	pi=621kPa
0	1048-1629	1522-1995	1416-1668	1365-1902	1394-1940	1800-2461
1	1988-2351	2034-2389	2235-2564	2432-2734	2641-2862	2765-2910
3	5492-5616	5613-5792	5763-5900	6153-6194	6376-6663	6827-7149
5	7450-8321	7722-8397	8105-8565	8621-8816	8736-8967	9261-9811

Table 3.
Variation of centre contact stress with height of chipping for car tyre

h(mm)	σ_v (kPa)			
	pi=103.5 kPa	pi=138kPa	pi=172.5kPa	pi=207kPa
1	120-171	125-185	143-245	200-311
3	294-374	400-547	507-693	557-772
5	389-466	499-538	624-727	723-864

Table 4.
Variation of centre contact stress with height of chipping for lorry tyre

h(mm)	σ_v (kPa)					
	pi=276kPa	pi=345kPa	pi=414kPa	pi=483kPa	pi=552kPa	pi=621kPa
1	1276-1979	1313-2576	1736-3086	1955-3154	2235-3428	2483-3670
3	1386-1917	1465-2721	1818-3495	2019-3521	2445-3589	2715-3735
5	2158-2918	2374-2988	2982-3181	3170-3479	3234-3735	3740-3886



POTENSI ASBUTON LAWELE UNTUK PERKERASAN BERASPAL

Kurniadji

RINGKASAN

Dalam tahun-tahun belakangan ini, terdapat dua isu utama pada pekerjaan peraspalan di Indonesia, pertama adalah kebutuhan aspal nasional yang tidak dapat dipenuhi produk dalam negeri sehingga perlu impor dan isu kedua adalah tidak tercapainya umur rencana akibat kerusakan premature (dini) yang diindikasikan dengan terjadi pelunakkan serta oksidasi pada campuran beraspal, karena temperatur tinggi. Salah satu cara mengurangi impor aspal sekaligus memperbaiki kinerja campuran beraspal adalah memanfaatkan produk dalam negeri yaitu penggunaan aspal alam yang terdapat di Pulau Buton Sulawesi Tenggara, biasa disebut Asbuton (Aspal Batu Buton), yang merupakan daerah deposit aspal alam terbesar di dunia yaitu sekitar 677 juta ton. Sebagian besar dari deposit tersebut (yang telah dieksplorasi) berada di daerah Lawele, yaitu sekitar 210 juta ton atau setara dengan 63 juta ton aspal minyak.

Dengan memperhatikan persyaratan yang ada, penggunaan Asbuton dari Lawele dapat mensubstitusi penggunaan aspal minyak dalam campuran beraspal panas sekitar sepertiga dari kadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Asbuton Lawele dapat memperbaiki sifat campuran dengan menaikkan nilai stabilitas, nilai VMA, VIM, VFB, menaikkan stabilitas dinamis sampai 71%, serta menaikkan modulus resilien sampai 88%, yang akhirnya akan menambah umur konstruksi yang ditunjukkan dengan lebih tingginya nilai Nf dibandingkan tanpa penambahan Asbuton.

Dengan naiknya mutu campuran, dari hasil kajian harga konstruksi, lapisan beraspal dengan penambahan Asbuton Lawele mempunyai harga konstruksi 20% lebih murah dibandingkan tanpa Asbuton Lawele pada umur pelayanan yang sama.

Dengan kata lain penggunaan Asbuton Lawele dapat menghemat devisa negara sekaligus memperbaiki kinerja lapisan beraspal dari kerusakan dini.

SUMMARY

In the later years, there are two main issues on asphaltic worked, firstly the necessity of national asphalt which cannot be fulfilled by a domestic supplier, so that it has to be imported, and the second issue is the design life of pavement which cannot be reached resulting in early deterioration, due to softening and oxidation of asphalt for reason of high temperature.

One of the ways to minimize on importing asphalt and also to improve the performance of asphalt mixture is to use domestic by using natural asphalt from Buton island at South East Sulawesi, which is called Asbuton (Buton Rock Asphalt), it has the biggest natural asphalt deposit in the world approximately 677 million tons. Most of the deposit (has been explored) is in Lawele, it is about 210 million tons or similar to 63 million tons of asphalt.

By looking at the available requirement, about one third of asphalt can be substituted by Lawele Asbuton on hot asphalt mixture. The result shown that adding the Lawele Asbuton can improve properties of asphalt mixture by raising stability value of VMA, VIM, VFB, up to 71% by dynamic stability and also resilient modulus improve until 88% and finally it can improve construction life which is shown by Nf value if compared to the one which is not adding Asbuton.

Because of improvement quality of mixture, from the result of construction price analyses, asphaltic pavement with Asbuton Lawele has construction cost 20% cheaper comparing with the service life.

In other words the use of Lawele Asbuton can save state devisa as well as improving performance of asphalt from early deterioration.

I. PENDAHULUAN

Dalam tahun-tahun belakangan ini, terdapat dua issue utama pada pekerjaan peraspalan di Indonesia. Pertama adalah kebutuhan aspal nasional untuk pemeliharaan, peningkatan, dan pengembangan aksesibilitas transportasi jalan adalah sekitar 1.200.000 ton/tahun yang tidak dapat dipenuhi pemasok dalam negeri sehingga setengah dari jumlah tersebut masih harus diimpor.

Issue kedua adalah tidak tercapainya umur rencana akibat kerusakan premature yang diindikasikan terjadi pelunakkan serta oksidasi pada aspal, karena temperatur tinggi, sehingga dibutuhkan bahan tambah untuk memperbaiki karakteristik aspal yang dalam pengadaannya kebanyakan masih harus diimpor.

Salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan untuk mengurangi impor aspal sekaligus memperbaiki kinerja campuran beraspal adalah memanfaatkan produk dalam negeri yaitu penggunaan aspal alam yang terdapat di pulau Buton Sulawesi Tenggara, biasa disebut Asbuton (Aspal Batu Buton), yang merupakan daerah deposit aspal alam terbesar di dunia yaitu sekitar 677 juta ton. Sebagian besar dari deposit tersebut yang telah dieksplorasi berada di daerah Lawele, yaitu sekitar 210 juta ton atau setara dengan ± 63 juta ton aspal minyak. Selama ini Asbuton yang dieksploitasi berada di daerah pertambangan Kabungka dan sekitarnya, padahal jumlah depositnya relatif rendah, yaitu sekitar 60 juta ton atau setara dengan ± 12 juta ton aspal minyak. Berdasarkan hal tersebut, perlu dikaji potensi dari Asbuton dari Lawele, yang dalam tulisan ini membahas kajian di laboratorium terhadap Asbuton dari Lawele ditinjau dari karakteristik campuran serta dari perkiraan harga satuan dalam pekerjaan pelapisan campuran beraspal panas.

II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam pengkajian adalah metodologi eksperimen di laboratorium yang didahului survai pendahuluan dan pengambilan contoh di lokasi sumber bahan yang dilanjutkan dengan pengujian bahan yang akan digunakan dalam campuran yaitu aspal keras pen 60, Asbuton dari Lawele dan agregat.

Dengan bahan yang telah diuji dan memenuhi persyaratan, dilakukan percobaan beton aspal campuran panas dengan dan tanpa Asbuton Lawele, sehingga setelah dianalisis dapat diketahui kelebihan dan kekurangan beton aspal dengan dan tanpa Asbuton, Lawele selanjutnya dari hasil yang telah diperoleh dapat dihitung nilai tambahannya.

III. HASIL PENGUJIAN

3.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada pengkajian adalah Asbuton dari Lawele, Aspal keras pen 60, serta Agregat yang berasal dari daerah Karawang Jawa Barat.

3.1.1. Asbuton Lawele dan Aspal keras pen 60

Dari hasil ekstraksi diperoleh kadar bitumen Asbuton Lawele adalah 30,8% dan mineral 69,2%. Selanjutnya untuk mengetahui karakteristik bitumen Asbuton Lawele dan aspal keras pen 60 yang akan digunakan dalam campuran dilakukan pengujian fisik. Hasil pengujian karakteristik bitumen Asbuton dan Aspal keras pen diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1.
HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK BITUMEN ASBUTON DAN ASPAL KERAS PEN 60

Jenis Pengujian	Metoda Uji	Hasil pengujian		Syarat Aspal kefras pen 60	Satuan
		Bitumen Asbuton	Aspal kefras		
Penetrasi pada 25 °C, 100g, 5 detik	SNI 06-2456-91	36	67	60-79	0,1 mm
Titik lembek	SNI 06-2434-91	59,2	51,4	48 – 58	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-91	> 140	> 140	>100	cm
Kelarutan dlm CL ₄	AASHTO T 44-90	99,58	99,7809	>99	(%)
Titik nyala	SNI 06-2433-91	198	318	>200	°C
Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1,0367	1,0389	>1,000	-
Penurunan berat (TFOT), 163°C, 5 jam	SNI 06-2441-1991	0,3048	0,0146	<0,4	(%)
Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-91	94	85		%
Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-91	62	53		°C
Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-91	>140	>140		cm

Dari hasil pengujian seperti diperlihatkan pada Tabel 3.1 menunjukkan bitumen yang dikandung Asbuton Lawele mempunyai karakteristik yang cukup baik hal tersebut ditunjang dengan analisis kimia yang memperlihatkan hasil uji parameter Maltene = 1.5010; Nitrogen/Parafin (N/P) = 2.4052 serta kandungan Asphaltene = 39.45%. Disamping itu pada Tabel yang sama juga memperlihatkan aspal keras yang digunakan dalam campuran memenuhi persyaratan.

3.1.2 Agregat

Agregat yang digunakan dalam campuran beraspal, diuji secara fisik dengan hasil seperti diperlihatkan pada Tabel 3.2.

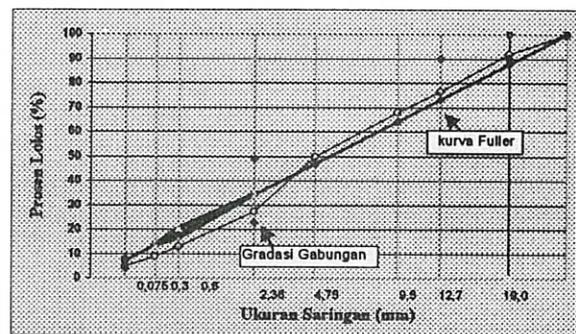
Tabel 3.2.
HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK
AGREGAT KASAR DAN HALUS

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian		Peyaratan	Satuan
		Agregat kasar	Agregat halus		
1.	Abrasi L.A, 500 putaran,	14,4	-	Maks. 40	%
2.	Kelekatan terhadap aspal,	>95	-	Min. 95	%
3.	Kepipihan, %	14,7	-	Maks. 10	%
4.	Impact, %	15,08	-	-	-
5.	Berat Jenis:				
	- Bulk	2,603	2,64	-	-
	- SSD	2,664	2,70	-	-
	- Apparent	2,772	2,803	-	-
	Penyerapan, %	2,333	2,12	Maks. 3,0	%
6.	Lolos Saringan No. 200,		12,8	Maks. 10	%
7.	Sand Equivalent,	-	54,11	Minimum 40	%

3.2. Perencanaan campuran

Rancangan campuran didasarkan pada spesifikasi campuran beraspal panas dengan kepadatan mutlak.

Gradasi gabungan yang digunakan dipilih yang memotong lengkung Fuller. dengan kadar aspal campuran bervariasi dari 5 % s/d 7%. Gambar 3.3 memperlihatkan tipikal grafik pembagian butir gradasi gabungan dari agregat kasar, agregat halus dan mineral Asbuton.



Gambar 3.1. Gradasi Gabungan memotong kurva fuller

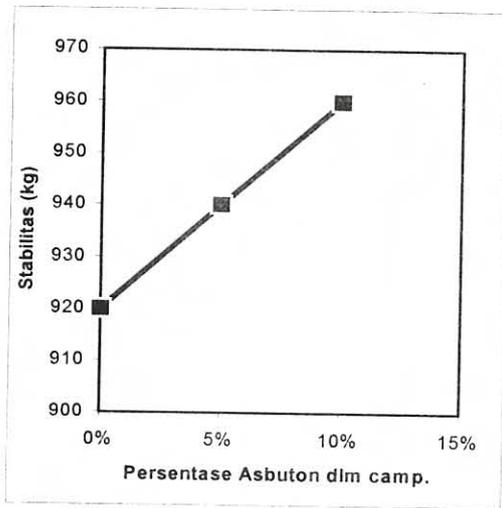
3.3. Hasil Pengujian Campuran

3.3.1. Hasil uji Campuran dengan Uji Marshall
Untuk mengetahui pengaruh penambahan Asbuton dalam beton aspal campuran panas terhadap volumetrik dan kekuatan campuran dilakukan pengujian dengan alat uji Marshall. Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 3.3. dan Gambar 3.1

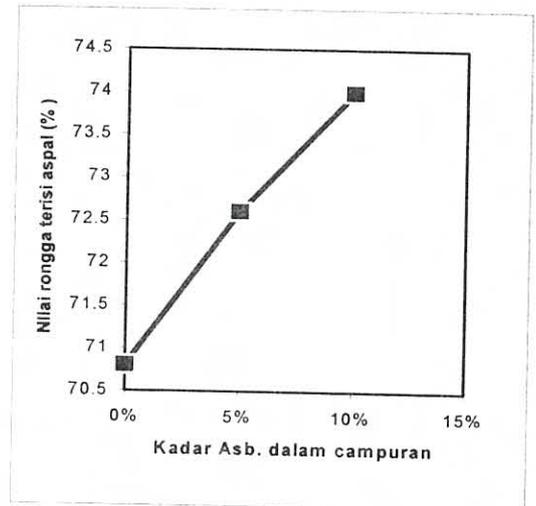
Tabel 3.3
Hasil Pengujian Marshall dan kepadatan mutlak

No	Jenis pengujian	Hasil pengujian			Syarat*)
		% Aasbuton dalam campuran			
		0 %	5 %	10 %	
1	Kadar aspal optimum, %	6.00	6.40	7.20	-
2	Kepadatan, gr/cm ³	2.304	2.280	2.242	-
3	Rongga dalam min. agr, %	17.42	18.30	20.20	Min. 15
4	Rongga terisi aspal, %	70.80	71.60	74.00	Min. 65
5	Rongga dalam campuran, %	5.09	5.12	5.30	4.9-5.9
6	Rongga dalam campuran pada kepadatan mutlak, %	3.31	3.80	2.70	Min. 2.50
7	Stabilitas, kg	920	940	960	Min. 800
8	Pelelehan mm	3.03	3.01	3.00	Min. 2
9	Marshall kuosien kg/mm	304	312	320	Min 200

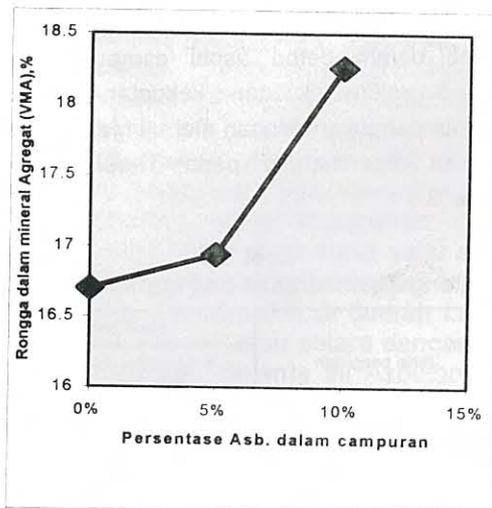
*) Sumber : Spesifikasi campuran beraspal dengan kepadatan mutlak



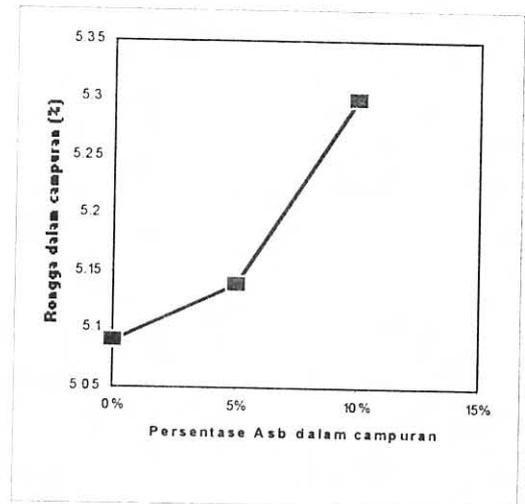
a) Hubungan % Asbuton dengan Stabilitas



c) Hubungan % Asbuton dengan VMA



c) Hubungan % Asbuton dengan VMA

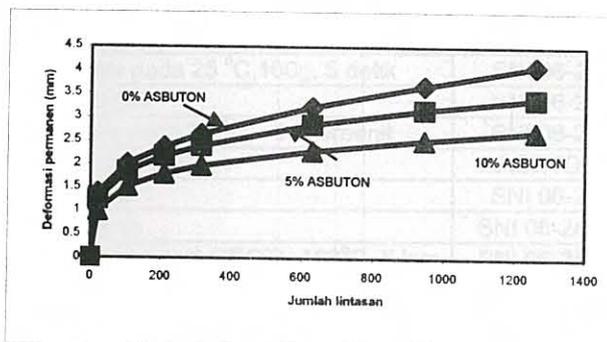


d) Hubungan % Asbuton dengan VIM

Gambar 3.1 Hubungan % Asbuton dalam Campuran dengan Karakteristik Campuran

3.3.2. Hasil uji Alur dengan Wheel Tracking Machine

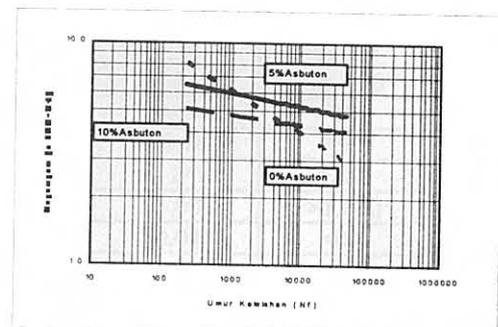
Untuk mengetahui pengaruh penambahan Asbuton dalam beton aspal campuran panas terhadap alur dilakukan pengujian dengan alat Wheel Tracking Machine. Tipikal hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Hubungan jumlah lintasan simulasi beban 8,12 ton dengan kedalaman alur

3.3.3. Hasil uji Fatig dengan Alat Dartec

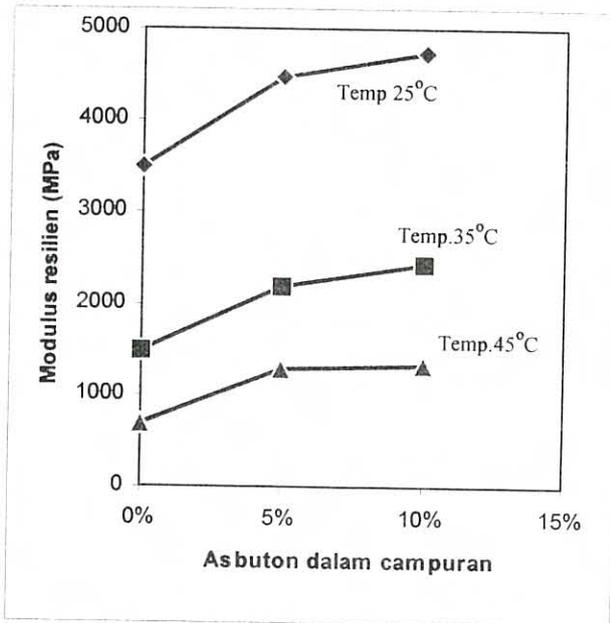
Untuk mengetahui pengaruh penambahan Asbuton dalam beton aspal campuran panas terhadap fatig dilakukan pengujian dengan alat Dartec. Ilustrasi hubungan antara regangan dan umur fatig (Nf) pada variasi kadar Asbuton dalam campuran beton aspal campuran panas dari lapisan diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Hubungan umur kelelahan dg Regangan

3.3.4. Hasil uji Modulus kekakuan (MR) dengan alat UMATTA

Untuk mengetahui pengaruh penambahan Asbuton dalam beton aspal campuran panas terhadap modulus kekakuan dilakukan pengujian dengan alat UMATTA. Ilustrasi hubungan antara persentase Asbuton dalam campuran dengan nilai MR diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik % Asbuton dengan MR

IV. PEMBAHASAN HASIL UJI

4.1. Bahan

4.1.1. Asbuton Lawele dan Aspal keras pen 60

Kecuali nilai penetrasi pada bitumen Asbuton Lawele, kedua jenis aspal memenuhi persyaratan pada spesifikasi aspal. Dengan kadar bitumen dari Lawele 30,8% dengan nilai penetrasi 36 (0,1 mm) serta titik lembek 59,2 °C menghasilkan nilai Indeks penetrasi + 0,1 sedangkan aspal keras yang digunakan mempunyai nilai penetrasi 67 (0,1 mm) dan titik lembek 51,4 °C menghasilkan nilai Indeks penetrasi - 0,137.

Nilai indeks penetrasi tersebut menunjukkan kerentanan aspal keras terhadap perubahan temperatur jauh lebih tinggi dibandingkan bitumen asbuton Lawele. Apabila aspal keras diberi penambahan bitumen Asbuton, akan terdapat aspal gabungan yang lebih tahan terhadap perubahan temperatur. Namun demikian penggabungan dapat dilakukan apabila bitumen dari Asbuton Lawele telah diekstraksi yang membutuhkan biaya tinggi. Oleh karena itu apabila masih digunakan Asbuton berbentuk butir dalam campuran beraspal, perlu diperhitungkan mineral terhadap gradasi campuran, dalam hal ini ada

pembatasan filler dalam campuran beraspal yaitu rasio filler-bitumen content 0,4 – 1,2.

4.1.2. Agregat

Untuk keperluan pengkajian, terdapat dua jenis agregat, yaitu agregat kasar dan agregat halus, keduanya memenuhi persyaratan pada spesifikasi. Dari analisis saringan keduanya diperoleh gradasi gabungan yang memenuhi persyaratan, baik dengan kadar Asbuton 0%, 5% maupun 10%. Gradasi gabungan yang dipilih adalah gradasi yang memotong lengkung fuller dengan pertimbangan gradasi ini mempunyai fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan gradasi di atas lengkung fuller, padahal pada pengkajian dilakukan penambahan Asbuton yang mempunyai kecenderungan menambah kekakuan, sehingga terjadi keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas dari campuran.

4.2. Campuran

Terdapat empat jenis pengujian yang dilakukan untuk memperoleh karakteristik campuran beraspal yang dikaji, yaitu Uji Marshall, Uji alur, Uji fatig dan uji kekakuan.

4.2.1. Uji Marshall

Dari hasil uji Marshall ditunjukkan bahwa semua jenis campuran yang diuji memenuhi criteria Marshall yang disyaratkan, dari hasil pengujian tersebut terdapat beberapa hal yang dapat dikemukakan antara lain: Kadar aspal optimum bertambah sejalan dengan naiknya kadar Asbuton dalam campuran, demikian juga criteria lainnya, sehingga terdapat keseimbangan criteria yang diuji.

4.2.2. Uji alur

Dari hasil uji kedalaman alur ditunjukkan bahwa kedalaman alur menurun dan stabilitas dinamis bertambah sejalan dengan naiknya kadar Asbuton dalam campuran. Namun demikian terdapat hal menarik yang dapat dikemukakan yaitu pada 5% pertama penambahan Asbuton (2625 lint/mm) terdapat kenaikan stabilitas dinamis cukup signifikan yaitu mencapai 71% dibandingkan 0% Asbuton (1537 lint/mm), tetapi pada 5% kedua yaitu 10% penambahan asbuton (3315 lint/mm) kenaikan stabilitas dinamis hanya sekitar 20% dibandingkan 5% asbuton, oleh karena itu penambahan asbuton lebih efektif pada 5% Asbuton pertama daripada 10% Asbuton dalam campuran.

4.2.3. Uji fatig

Dari hasil uji fatig ditunjukkan bahwa pada regangan yang sama diperoleh repetisi beban yang lebih besar sejalan dengan bertambahnya persentase Asbuton dalam campuran beraspal atau pada beban yang sama akan timbul regangan

yang berbeda, sebagai ilustrasi dapat dikemukakan pada Nf 10.000 lintasan akan timbul regangan yang berlainan dari ketiga jenis campuran, berturut-turut 3,924 μm , 4,285 μm dan 5,20 μm , dengan kata lain pencapaian regangan yang sama akan dicapai oleh lintasan beban berbeda.

4.2.4. Uji kekakuan

Dari hasil uji kekakuan, kenaikan modulus kekakuan resilien yang paling nyata adalah dengan penambahan Asbuton pada 5% pertama yaitu sampai 88% untuk temperatur uji tertentu, namun pada penambahan 5% kedua atau 10% dari 0 % Asbuton, kenaikan modulus kekakuan resilien tidak begitu nyata yaitu hanya sekitar 4 – 6%

Bertambahnya Asbuton dalam campuran memberikan ketahanan terhadap perubahan temperatur, yang diperlihatkan dengan penurunan modulus resilien campuran tanpa Asbuton mengalami penurunan sampai 80% pada temperatur uji 45°C, sedangkan campuran yang ditambah Asbuton mengalami penurunan sekitar 70% jadi terdapat selisih 10%.

4.2.5. Simulasi perhitungan penentuan tebal overlay

Dengan data hasil pengujian yang telah dilakukan, untuk mengetahui pengaruh penggunaan Asbuton dalam campuran beraspal panas dilakukan simulasi perhitungan penentuan tebal overlay menggunakan program Kenlayer, data lapangan yang digunakan adalah data pada ruas jalan Padalang – Purwakarta, dengan data :

- Lapis permukaan : 5 cm, angka poison : 0,35; E = 348.000 psi
- Lapis pondasi atas : 13 cm, angka poison : 0,35; E = 87.000 psi
- Lapis pondasi bawah: 20 cm, angka poison:0,35; E = 58.000 psi
- Subgrade : angka poison: 0,45 ; E = 17260 psi
- Lalu-lintas per tahun : 3.914.000 ESA

Dari perhitungan dengan menggunakan program Kenlayer, diperoleh umur sisa dari perkerasan adalah 1,26 tahun dengan lalu-lintas 4.925.200 ESA

Dengan variasi penambahan Asbuton 0%, 5% dan 10 % terhadap total campuran, beban lalu-lintas 3.914.000 ESA diperoleh rencana tebal dan umur rencana :

Apabila ditetapkan umur rencana yang sama, dalam hal ini 5 tahun, diperoleh overlay :

- Beton aspal campuran panas tanpa Asbuton : 10 cm
- Beton aspal campuran panas dengan 5% Asbuton : 8 cm

- Beton aspal campuran panas dengan 10% Asbuton: 7,75 cm

Hasil perhitungan memperlihatkan makin banyak prosentase Asbuton ditambahkan ke dalam campuran beraspal panas, makin tipis tebal overlay yang dibutuhkan.

Dengan kata lain, penambahan 5% Asbuton dalam campuran akan mengurangi tebal overlay sampai 20% pada umur pelayanan jalan yang sama.

4.2.6. Perbandingan Biaya Produksi Campuran

Untuk melihat biaya konstruksi dari campuran beraspal panas tanpa dan dengan Asbuton, digunakan analisis biaya berdasarkan harga bahan, biaya operasi, seperti dipelihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
TOTAL BIAYA PER TON CAMPURAN DENGAN DAN TANPA ASBUTON

No.	Jenis Biaya	Biaya Bahan		
		0% Asbuton (Rp)	5% Asbuton (Rp)	10% Asbuton (Rp)
1.	Biaya Bahan	197.325	200.205	203.095
2.	Biaya Alat	74.982	74.982	74.982
3.	Biaya Pekerja	1.720	1.720	1.720
4.	Biaya Overhead dan Laba	32.883	33.229	33.576
	Jumlah	306.910	310.136	313.373

Berdasarkan Tabel 4.1, menunjukkan komponen yang sangat berpengaruh pada perhitungan harga satuan campuran beraspal adalah harga satuan bahan dan overhead yang memperlihatkan makin tinggi persentase Asbuton yang ditambahkan, makin tinggi harga per ton campuran.

Namun demikian apabila dihitung dari segi konstruksi, lapisan beraspal dengan Asbuton lebih ekonomis dibandingkan tanpa Asbuton Hal tersebut ditunjukkan dengan perhitungan yang menunjukkan penambahan 5% Asbuton dalam campuran beraspal panas akan mengurangi tebal overlay sebesar 20%, untuk pembuktian lebih lanjut dilakukan ilustrasi perhitungan dengan dasar umur rencana 5 tahun :

- Campuran beraspal panas tanpa Asbuton (0%)
Untuk satu ton campuran akan diperoleh lapisan padat 10 cm seluas 4,35 meter persegi yang bila dihitung dengan uang akan diperoleh harga per meter persegi adalah RP. 70.554,-
- Campuran beraspal panas dengan 5% Asbuton
Untuk satu ton campuran akan diperoleh lapisan padat 8 cm seluas 5,43 meter persegi yang bila dihitung dengan uang akan diperoleh harga per meter persegi adalah RP.57.115,-
- Campuran beraspal panas dengan 10% Asbuton
Untuk satu ton campuran akan diperoleh lapisan padat 7,75 cm seluas 5,61 meter

persegi yang bila dihitung dengan uang akan diperoleh harga per meter persegi adalah RP.55.859,-

Dari ilustrasi di atas untuk umur rencana yang sama, yaitu 5 tahun :

- Campuran beraspal dengan 5% Asbuton
Untuk satu meter persegi akan dihemat sebesar RP.13.439,- atau 19,04% dibandingkan dengan campuran beraspal tanpa Asbuton
- Campuran beraspal dengan 10% Asbuton
Untuk satu meter persegi akan dihemat sebesar RP.14.695,- atau 20,83% dibandingkan dengan campuran beraspal tanpa Asbuton

Dengan kata lain hasil akhir penggunaan campuran beraspal panas yang ditambah Asbuton untuk overlay lebih ekonomis dibandingkan dengan campuran beraspal panas tanpa Asbuton, meskipun harga satuan per tonnya lebih mahal.

V. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah dikemukakan dapat disimpulkan bahwa Asbuton berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan pertimbangan :

1. Tingginya ketersediaan Asbuton di Lawele (210 juta ton), sehingga kesinambungan pekerjaan peraspalan terjaga.
2. Kualitas campuran yang ditambah Asbuton lebih baik dibandingkan tanpa Asbuton yang diperlihatkan dengan parameter Marshall.
3. Penambahan Asbuton dalam campuran beraspal panas akan menghemat penggunaan aspal minyak sampai sepertiga dari kebutuhan aspal.
4. Penambahan Asbuton dalam campuran beraspal akan menaikkan kekakuan campuran

sampai 93% dari campuran tanpa Asbuton dan lebih tahan terhadap alur. Namun demikian campuran dengan Asbuton dapat menahan tegangan-regangan yang terjadi pada lapisan.

5. Campuran dengan penambahan Asbuton lebih tahan terhadap perubahan temperatur, sehingga dapat diterapkan pada lokasi penghamparan dengan temperatur perkerasan yang relatif tinggi
6. Lapisan dengan campuran 5% Asbuton akan menghemat dana sekitar 20% dibandingkan tanpa Asbuton dengan umur rencana yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Kimpraswil, 2001 *seksi 6.3. Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, 2001
- Kurniadji, 2002, *Penggunaan Buton Lake Asphalt* di dalam Campuran Beraspal Panas, Departemen Kimpraswil
- Shell, 1990, *The Shell Bitumen Handbook*, Shell
- Wilkins, 1989, *Quality of Asbuton Bitumen and Design*, Alberta Research Council, Canada, 1989

Penulis :

Ir. Kurniadji MSc., Peneliti pada Balai Bahan perkerasan Jalan, di Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi. Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil



PEMERIKSAAN KONDISI PELAT BETON LANTAI JEMBATAN DENGAN METODE NON-DESTRUKTIF "IMPACT-ECHO"

Nandang Syamsudin

RINGKASAN

Sebagian besar dari pelat beton lantai jembatan, terutama jembatan rangka baja mengalami kerusakan, khususnya yang berada pada ruas jalan Nasional. Untuk mengantisipasi hal tersebut diperlukan suatu metode pemeriksaan yang cepat dan akurat serta tidak merusak (non-destruktif), salah satu metode pemeriksaan yang dapat digunakan, yaitu metode impact-echo.

Impact-echo adalah suatu metode uji non-destruktif berdasarkan gelombang tekan yang dihasilkan dari tumbukan yang merambat melalui beton dan direfleksikan oleh rongga udara (kerusakan) yang ada di dalam struktur beton, seperti retak keropos (honeycombing), rongga udara (voids), delaminasi, debonding, dan bisa digunakan untuk menyelidiki keseragaman mutu beton, ketebalan pelat beton dan rongga diantara pelat beton dan tanah.

Metode impact-echo bisa juga digunakan untuk pelat beton dengan overlay campuran beraspal dan tidak terpengaruh oleh adanya getaran seperti getaran pada jembatan yang diakibatkan oleh lalu lintas yang lewat, sehingga pada waktu pemeriksaan kondisi lantai jembatan tidak perlu menyetop lalu lintas, dan data bisa langsung direkam dalam harddisk/disket komputer dan hasilnya dapat diandalkan (untuk pendeteksian retak dan rongga 95% akurat), hal ini sangat penting karena dapat menghemat waktu dan biaya.

SUMMARY

Most of slab of concrete bridge, majorly in steel truss bridge, is damage at national road. To anticipate such case, one of inspection methods which quickly, accurate and [do] not damage bridge structure is application of impact-echo equipment.

Impact-Echo is a non-destructive-test method based on wave which is resulted from impact between the equipment's transducer and the structure, and the result is continued through concrete. Honeycombing, voids, delamination, and debonding, can be reflected in graphic displayed in computer screen. By specific analysis and lots of experiment in laboratory, the engineers can learn how to interpret such graphic. The equipment also can be used to investigate ununiformity of concrete quality, concrete thickness, void between concrete and soil which occur in rigid pavement.

Impact-Echo was not affected by other vibration such as vibration resulted by bridge traffic, so in implementation, no traffic stopping is needed, and data also can be directly recorded in computer and the result is so reliable to detect crack and void

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Direktorat Jenderal Bina Marga, Jumlah jembatan yang ada pada ruas jalan Nasional dan Propinsi di seluruh Indonesia kurang lebih 25930 jembatan meliputi panjang total 400.000 m. Khususnya jembatan rangka baja selama Pelita IV dan V telah dibangun kurang lebih 40.000 m panjang dan sebagian besar dari pelat lantai betonnya mengalami kerusakan[5]. Dikhawatirkan kerusakan pelat lantai jembatan

rangka baja tersebut akan semakin banyak dan semakin parah yang mengakibatkan terganggunya arus lalu lintas.

Untuk mengantisipasi hal tersebut di atas diperlukan suatu metode pemeriksaan kondisi lantai jembatan yang cepat dan akurat serta tidak merusak (non-destruktif). Metode pemeriksaan kondisi beton secara destruktif, seperti coring atau menghilangkan bagian struktur untuk melakukan pengamatan visual dibagian dalam, hasilnya

sangat terpercaya tetapi sangat mahal dan makan waktu dan meninggalkan kerusakan bahkan menjadi titik pangkal kerusakan. Akhir-akhir ini metode pemeriksaan kondisi beton nondestruktif seperti x-ray, gamma rays, radar, infra merah dan akustik telah banyak digunakan.

Metode akustik merupakan metode tertua, metode ini berdasarkan pada perambatan dan refleksi gelombang. Contohnya adalah memukul objek dengan palu dan mendengarkan suara yang dihasilkan untuk mendeteksi adanya rongga internal, retak atau kerusakan lainnya. Tiga metode yang berdasarkan pada perambatan gelombang telah digunakan untuk evaluasi beton, yaitu : metode pulse-velocity, metode resonansi dan metode echo. Pada makalah ini pembahasan dibatasi pada metode pemeriksaan kondisi struktur pelat beton lantai jembatan berdasarkan metode impact-echo.

II. CARA KERJA METODE IMPACT-ECHO

Metode Impact-echo didasarkan pada penggunaan gelombang transien yang dihasilkan oleh tumbukan elastis, diagram tentang metode impact-echo ditunjukkan pada Gambar 1. Tumbukan mekanis dengan durasi pendek, yang dilakukan dengan memukul permukaan beton dengan menggunakan baja bulat kecil, akan menghasilkan gelombang frekuensi rendah yang merambat pada struktur dan direfleksikan oleh kerusakan beton dan atau permukaan beton. Refleksi gelombang tersebut direkam oleh transduser yang ditempatkan berdekatan dengan lokasi tumbukan. Perpindahan dan waktu rambat gelombang ditransformasikan pada domain frekuensi. Dari Amplitudo versus frekuensi diperoleh spektrum, spektrum yang dihasilkan digunakan untuk mengevaluasi integritas struktur dan lokasi kerusakan [2].

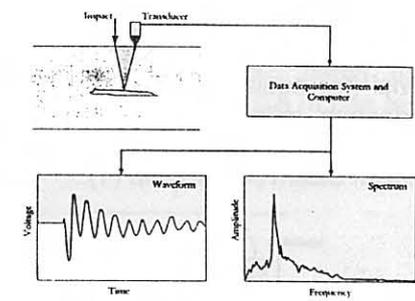
Pola yang diperlihatkan pada wave form dan spektrum (terutama spektrum) memberikan informasi tentang jenis dan lokasi kerusakan, atau dimensi penampang struktur seperti ketebalan pelat beton. Pemeriksaan dengan impact-echo pada struktur padat (solid) menghasilkan wave form dan spektrum yang berbeda, pola dominan terutama jumlah dan distribusi puncak gelombang pada spektrum akan diketahui dengan mudah. Jika terdapat kerusakan (retak, keropos, delaminasi, dan yang lainnya) pola tersebut akan berubah yang memberikan informasi kualitatif tentang jenis dan lokasi kerusakan.

Metode impact-echo untuk struktur pelat diilustrasikan pada Gambar 2, 3, dan 4. Pulsa tegangan transien dimasukkan kedalam objek yang akan diperiksa dengan tumbukan mekanik

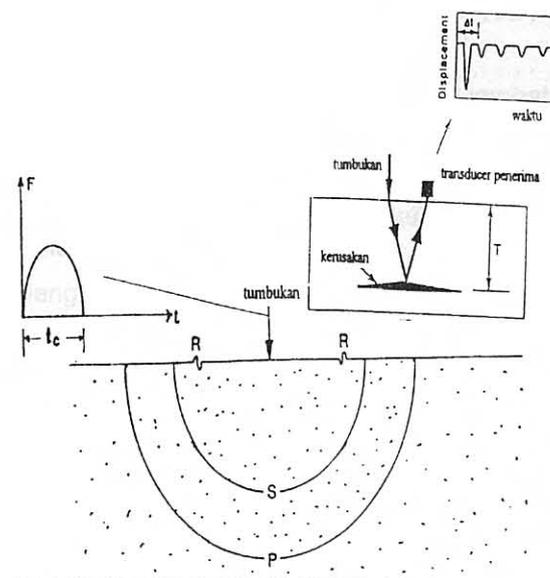
pada permukaan. Pulsa tegangan terdiri dari gelombang P dan S yang disebarkan kedalam objek dan gelombang R yang tersebar pada permukaan dan terpusat pada titik tumbukan. Gelombang P dan S direfleksikan dengan retakan internal, rongga udara atau batas bahan objek pemeriksaan. Datangnya gelombang yang direfleksikan pada permukaan dimana tumbukan dilakukan diukur oleh transduser penerima.



Foto 1. Peralatan impact-echo



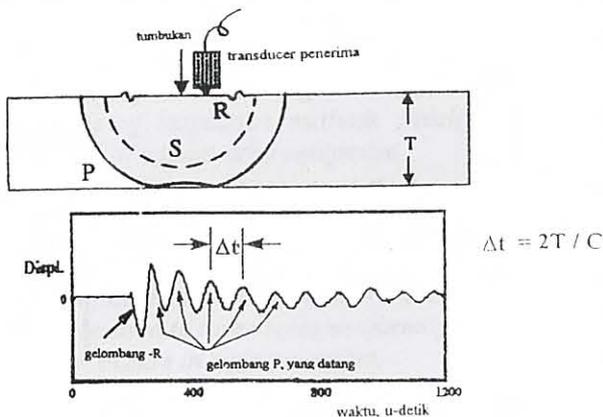
Gambar 1. Prinsip kerja metode impact-echo



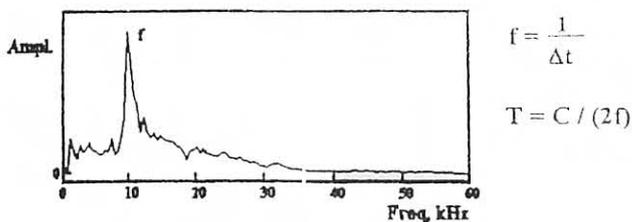
Gambar 2. Skema kerja impact-echo pada pemeriksaankondisi struktur pelat beton

Bila penumbuk bulat digunakan, fungsi waktu dari tumbukan adalah setengah lingkaran kurva sinus, lebar kurva adalah durasi atau waktu kontak (t_c) dari tumbukan. Waktu perpindahan gelombang permukaan vertikal yang dihasilkan mempunyai bentuk dari fungsi waktu tumbukan, oleh karena itu lebar gelombang R adalah sama dengan durasi tumbukan.

Jika transduser penerima ditempatkan dekat dengan titik tumbuk, perpindahan gelombang pada permukaan disebabkan oleh datangnya gelombang P, gelombang P yang datang dipermukaan direfleksikan kembali pada pelat, dan resonansi transien disusun/diatur sebagai refleksi yang terjadi antara permukaan atas pelat dan permukaan bawah pelat. Setiap gelombang P datang dipermukaan atas akan mengakibatkan perpindahan/pergeseran ke bawah. Gelombang datang secara berkala dan datang berkisar sama dengan dua kali panjang garis T yang dibagi dengan kecepatan gelombang P, dimana T adalah kedalaman dari refleksi permukaan dalam. Frekuensi (f_p) adalah kebalikan dari perioda dan sama dengan refleksi dari gelombang P antara permukaan atas dan permukaan dalam, dirumuskan dalam persamaan (1).



Gambar 3. Gelombang R yang tersebar ke permukaan



Gambar 4. Spektrum frekuensi

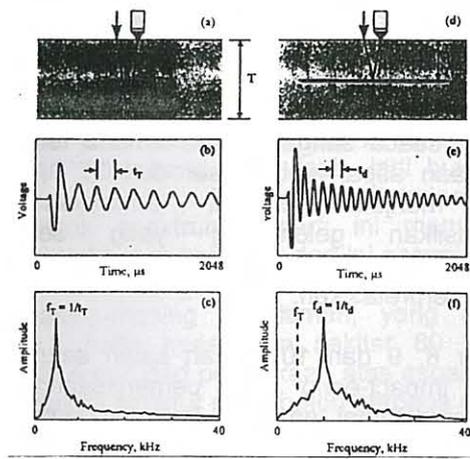
III. ANALISIS RESPON IMPACT-ECHO

Untuk struktur pelat dimana ketebalan relatif konstan dan kecepatan gelombang P diketahui, aksis frekuensi dari amplitudo spektrum dapat ditransformasikan ke dalam aksis dengan menggunakan persamaan 1 dan kemudian dijabarkan sebagai presentase ketebalan, spektrum tersebut merujuk kepada spektrum amplitudo normal atau spektrum yang dinormalisasikan. Aksis horisontal dari spektrum normal diplot ke dalam skala logaritma untuk mengurangi hasil dari hubungan terbalik antara frekuensi dan kedalaman dalam persamaan (1).

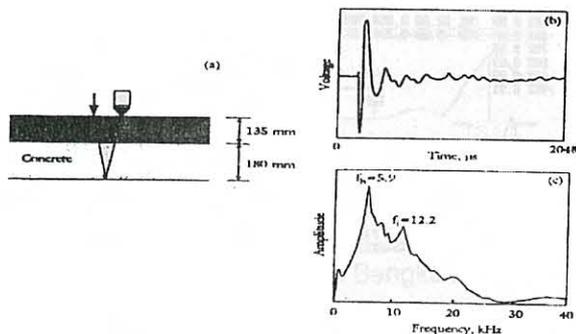
Normalisasi amplitudo spektrum memungkinkan penentuan hasil pemeriksaan secara otomatis yang diperoleh dari aplikasi tertentu. Perangkat lunak instrumen berisi jaringan kerja yang dikombinasikan dengan sistem yang digunakan untuk mengklasifikasikan spektrum normal dari pemeriksaan kondisi struktur pelat yang tebalnya maksimum 0,5m yang terdapat rongga atau retakan. Jaringan kerja digunakan untuk mengetahui gambaran dalam spektrum normal dan perangkat lunak (post-processor) menginterpretasikan hasil jaringan kerja. Jaringan kerja tersebut mendeteksi ada atau tidak adanya suatu kerusakan dalam pelat beton. Bila hasil jaringan kerja menunjukkan adanya suatu kerusakan, komputer menghitung kedalaman kerusakan dengan menggunakan hasil jaringan kerja, amplitudo spektrum dan persamaan (1).

IV. PELAT BETON DENGAN OVERLAY ASPAL

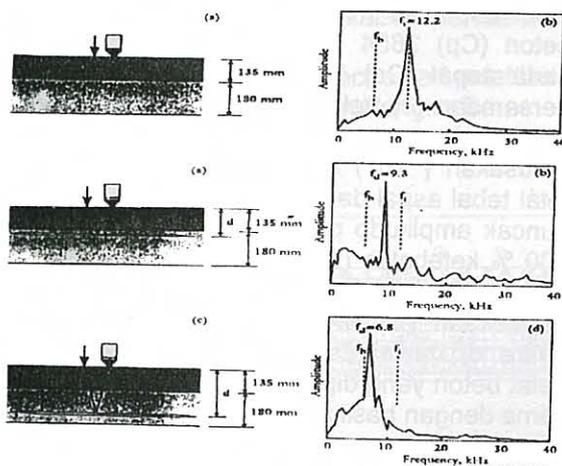
Metode impact-echo bisa digunakan untuk memeriksa kondisi pelat beton dengan overlay aspal, spektrum dari pelat beton dengan overlay aspal di atasnya, umumnya pada lapisan aspal menunjukkan puncak amplitudo rendah, dan pada ketebalan pelat beton atau kedalaman kerusakan menunjukkan puncak amplitudo yang lebih tinggi, dan respon dari lapisan aspal yang tipis sama dengan respon untuk delaminasi dangkal dalam suatu pelat.



Gambar 5. Karakteristik respon impact-echo pada Pelat beton padat dan pelat beton retak



Gambar 6. Karakteristik respon impact-echo pada pelat beton padat dengan lapisan overlay aspal



Gambar 7. Karakteristik respon impact-echo pada pelat beton retak dengan lapisan overlay aspal

Untuk menentukan kedalaman kerusakan, kecepatan gelombang P dalam beton dan dalam aspal harus diketahui, dan persamaan 1 harus dimodifikasi untuk menghitung waktu perjalanan

dari gelombang yang melewati setiap dua bagan. Kedalaman kerusakan (T_d) diukur dari bagian atas lapisan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2).

$$T_d = 0,5 \left\{ \frac{C_{pc}}{f_d} + \frac{C_{po} - C_{pc}}{f_o} \right\} \quad (2)$$

dimana : C_{pc} = kecepatan gelombang P dalam pelat beton
 C_{po} = kecepatan gelombang P dalam overlay aspal
 f_o = frekuensi puncak pada kedalaman overlay aspal
 f_d = frekuensi puncak pada kedalaman kerusakan dalam pelat beton; jika pelatnya padat, f_d adalah frekuensi puncak pada kedalaman penuh (tebal overlay + tebal pelat beton)
 T_d = ketebalan pelat beton + overlay aspal

Frekuensi puncak dari ketebalan penuh (f_t) diekspresikan oleh suatu fungsi dari ketebalan lapisan aspal, ketebalan pelat beton dan kecepatan gelombang P serta dirumuskan dalam persamaan (3). Persamaan tersebut di atas, digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang P berdasarkan frekuensi ketebalan terukur. Dalam hal ini perangkat lunak dapat digunakan untuk menganalisis suatu pelat dengan overlay sepanjang jumlah tebal pelat beton dan tebal overlay aspal tidak lebih dari 0,5 m dan temperatur permukaan aspal tidak lebih dari 37° C.

$$f_t = \frac{1}{\frac{2T_c}{C_{pc}} + \frac{2T_o}{C_{po}}} \quad (3)$$

Dimana : T_c = tebal beton
 T_o = tebal overlay aspal

V. PROSEDUR PEMERIKSAAN KONDISI PELAT BETON LANTAI JEMBATAN

- a. Persiapan pemeriksaan
Menyiapkan data pelat beton lantai jembatan yang akan diperiksa, yaitu: gambar struktur, mutu beton dan data penunjang lainnya, serta cara pendekatan pemeriksaan, konfigurasi titik pemeriksaan, lokasi dan lingkungan sekitar jembatan.
- b. Mengklasifikasikan struktur beton yang akan diperiksa.
Tipe struktur yang dapat diperiksa dengan metode impact-echo ada 6 kategori, yaitu : pelat beton, pelat beton berlapis atau dilapis aspal, balok beton persegi empat, balok beton persegi panjang, kolom beton bulat, dan kolom beton bulat berongga. Tipe struktur yang akan diperiksa, harus diklarifikasikan kesalah satu 6 dari kategori diatas. Dalam hal pemeriksaan kondisi pelat beton lantai jembatan, jika pemeriksaan dilakukan dari bagian bawah lantai, maka dipilih kategori "pelat beton", tetapi jika pemeriksaaan dilakukan dari bagian atas lantai dimana bagian atasnya dioverlay aspal,

maka dipilih kategori "pelat beton berlapis atau dilapis aspal.

- c. Mengenal bentuk gelombang-R yang benar dan salah.
Jika pada waktu pemeriksaan muncul bentuk gelombang yang salah (Gambar 15 dan 16 pada lampiran), tumbukan harus diulang sampai keluar bentuk gelombang yang benar (Gambar 14 pada lampiran).
- d. Mengidentifikasi respon spektrum beton solid.
 - Mencari titik yang solid, untuk menentukan kecepatan gelombang-P
 - Jika dari obyek yang akan diperiksa tidak ditemukan titik yang solid, maka kecepatan gelombang-P diperkirakan dari data kuat tekan beton, tetapi hal ini bisa dilakukan berdasarkan pengalaman akumulatif melaksanakan pemeriksaan dengan impact-echo pada berbagai struktur beton. Kecepatan gelombang-P beton solid tersebut, digunakan sebagai parameter pada tiap titik pemeriksaan dari satu objek yang diperiksa.
- e. Mengidentifikasi dan menginterpretasikan hasil pemeriksaan awal.
Mengidentifikasi dan menginterpretasikan respon karakteristik dari struktur beton solid dan rusak dari hasil pemeriksaan awal pada tempat yang direkomendasikan sangat membantu dalam menganalisis hasil pemeriksaan selanjutnya.
- f. verifikasi.
lakukan verifikasi/pembuktian hasil dengan melaksanakan coring disatu atau dua titik pada tempat yang direkomendasikan untuk meyakinkan dalam menganalisa dan menyimpulkan hasil pemeriksaan.

VI. STUDI KASUS

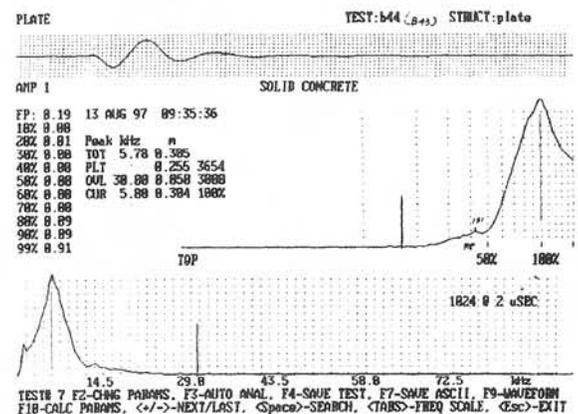
Sebagai contoh kasus disajikan hasil pemeriksaan pelat beton lantai jembatan Bangka Deres dan jembatan Cikerenceng.

6.1. Jembatan Bangka Deres

Struktur bangunan atas : Rangka Baja Austria
 Bentang : 10 x 5,0 m
 KM. Cirebon : 13+160
 Ruas jalan : Cirebon - Losari
 Tahun pembuatan : Maret 1996
 Tanggal pemeriksaan : 13 s/d 14 -8 - 1997
 Metode pemeriksaan : Impact-Echo
 Pelaksanaan pemeriksaan : dari bagian atas lantai
 Tebal pelat beton : 255 mm
 Tebal lapisan aspal : 50 mm
 Kecepatan gelombang-P pada beton : 3654 m/detik
 Kecepatan gelombang-P pada aspal : 3000 m/detik

Pemeriksaan dilakukan dari atas lantai jembatan, jadi dipilih program "pelat beton dengan overlay aspal". Kendala pemeriksaan dari bagian atas lantai jembatan, yaitu mengganggu arus lalu lintas, dan jika cuaca sangat panas dimana temperatur permukaan aspal lebih besar dari 37°C, lapisan aspal menjadi lembek, tumbukan tidak menghasilkan gelombang yang sempurna, mengakibatkan respon/spektrum impact-echo tidak bisa diinterpretasikan.

Gambar 8, 9 dan 10 adalah salah satu contoh respon impact-echo hasil pemeriksaan kondisi pelat beton lantai jembatan Bangka Deres **untuk beton padat (solid), retak dan keropos**, dengan evaluasi/interpretasi sebagai berikut :



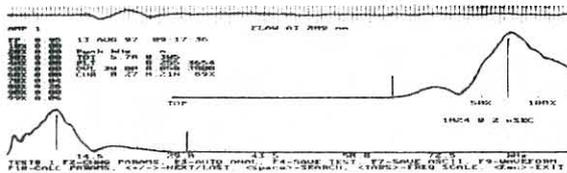
Gambar 8. Respon impact-echo dari pelat beton padat lantai jembatan Bangka Deres

Dari gambar 8 diketahui tebal pelat beton 255 mm, tebal aspal 50 mm, kecepatan gelombang pada beton (Cp) 3654 m/detik, kecepatan gelombang pada aspal (Co) 3000 m/detik, dihitung dengan persamaan (3) frekuensi puncak adalah 5,78 kHz dan dari persamaan (2) didapat kedalaman kerusakan (Td) adalah 305 mm sama dengan total tebal aspal dan tebal pelat beton, begitu juga puncak amplitudo pada spektrum 5, 80 kHz pada 100 % ketebalan (tebal aspal + tebal pelat beton) hal ini terjadi karena gelombang merambat sampai permukaan bawah lantai dan direfleksikan oleh udara di bawah lantai jembatan, berarti bagian pelat beton yang diperiksa kondisinya padat (solid) sama dengan hasil analisis post processor.

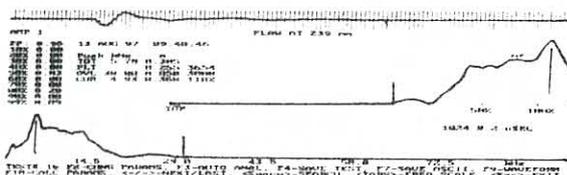
Dari Gambar 9 puncak amplitudo spektrum 8,27 kHz pada 69 % ketebalan pelat 210 mm dari permukaan atas lantai, karena tebal total pelat lantai 305 mm hal ini berarti ada kerusakan pada kedalaman 210 mm, hasil analisis tersebut bisa dicocokkan dengan nilai FP (probabilitas kerusakan), dalam hal ini nilai "FP" cukup besar yaitu 0,95 jadi betul ada kerusakan, dan untuk tipe kerusakannya bisa dilihat dari karakteristik

spektrumnya, untuk spektrum pada gambar 9 tipe kerusakannya adalah retakan. Pada Gambar 10 puncak amplitudo spektrum tertinggi ada pada 118 % ketebalan pelat padahal ketebalan pelat maksimum 100 %, artinya jarak rambatan gelombang lebih jauh, jadi bukan ada kerusakan pada 118 % ketebalan. Dari karakteristik spektrum seperti ini menandakan bahwa pelat beton keropos, dan ini sesuai dengan nilai FP sama dengan 0,95. Kalau dilihat nilai FP dari masing-masing kedalaman, yang terbesar yaitu 0,2 pada kedalaman sekitar 80 % atau sekitar 244 mm dari permukaan atas aspal. Hal ini menandakan struktur pelat beton keropos disekitar 244 mm dari permukaan atas aspal, sedangkan dari post processor hanya menyebutkan ada kerusakan pada kedalaman 239 mm.

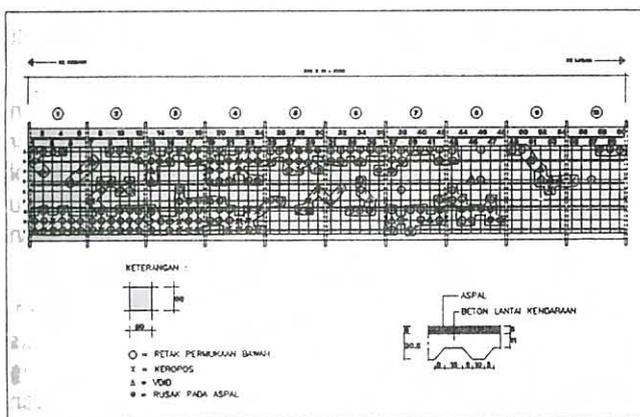
Dari contoh-contoh di atas pada waktu menganalisis respon impact-echo dari hasil pemeriksaan, jangan hanya melihat hasil dari post processor saja tetapi harus dibandingkan dengan hasil analisis karakteristik spektrumnya.



Gambar 9. Respon impact-echo dari pelat beton retak pada lantai jembatan Bangka Deres



Gambar 10. Respon Impact-echo dari pelat beton retak pada lantai jembatan Bangka Deres



Gambar 11. Kondisi Pelat beton lantai jembatan Bangka Deres dari hasil pemeriksaan dengan metode impact-echo

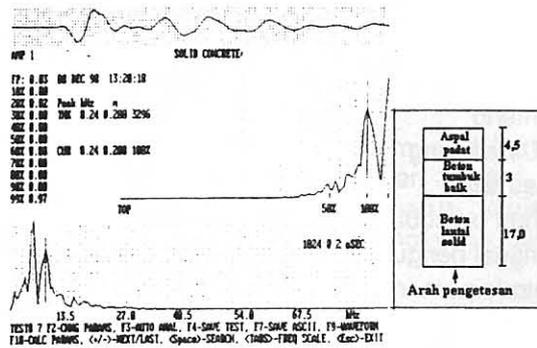
6.2. Jembatan Cikerenceng

Struktur bangunan atas : Gelagar beton konvensional (Balok "T")
 Bentang : 20,77meter
 KM. Bandung : 160+700
 Ruas jalan : Ciamis- Cikijing
 Tahun pembuatan : 1995
 Tanggal pengujian : 8 Desember 1998
 Metode pemeriksaan : Impact-Echo
 Pelaks. pemeriksaan : dari bagian bawah lantai
 Tebal pelat beton : 200 mm
 Tebal lapisan aspal : 50 mm
 Kecepatan gelombang-P pada beton: 3296 m/detik

Pemeriksaan dilakukan dari bagian bawah lantai jembatan, oleh karena itu tebal lapisan aspal tidak diperhitungkan dan dipilih program "pelat beton". Keuntungan pemeriksaan dari bagian bawah lantai jembatan, yaitu pada waktu pemeriksaan tidak mengganggu lalu lintas dan tidak terpengaruh oleh cuaca yang sangat panas.

Gambar 12 adalah suatu contoh hasil pemeriksaan pada pelat beton lantai jembatan Cikerenceng. Diketahui tebal pelat beton 200 mm, kecepatan gelombang Cp 3296 m/detik. Puncak amplitudo pada spektrum menunjukkan nilai 8,24 kHz pada 100 % ketebalan pelat (200 mm dari permukaan bawah lantai), atau lokasi kerusakan dihitung dengan persamaan (1) hasilnya 200 mm sama dengan tebal pelat beton, hal ini berarti tidak ada kerusakan atau beton padat/solid, sesuai dengan nilai FP yang sangat kecil yaitu 0,03 dan dari post processor juga hasilnya beton solid. Untuk membuktikan hal tersebut dilakukan core drill pada titik pemeriksaan tersebut, dimana hasilnya sesuai dengan hasil interpretasi karakteristik spektrum yaitu kondisi beton solid (Foto 2).

Gambar 13 adalah suatu contoh karakteristik spektrum dari bagian pelat beton lantai jembatan Cikerenceng yang rusak. Tebal pelat beton 200 mm, kecepatan gelombang P 3296 m/detik, spektrum mempunyai puncak amplitudo 9,32 kHz pada 88 % ketebalan atau 177 mm dari permukaan bawah lantai, berarti ada kerusakan dikedalaman 177 mm dari permukaan bawah lantai jembatan, sesuai dengan nilai FP yang besar yaitu 0,98 (mendekati 1,0), dan dari post processor menyatakan ada kerusakan di kedalaman 178 mm tanpa menyebutkan jenis kerusakannya, tetapi kalau dilihat dari karakteristik spektrum bisa diinterpretasikan bahwa kerusakannya adalah ada retakan/rongga udara. Tebal 177 mm dari bawah lantai adalah bagian beton tumbuk (Gambar 13), setelah di lakukan core drill terlihat betul ada rongga antara struktur pelat beton dengan beton tumbuk dimana lapisan beton tumbuknya sudah belah (Foto 3).



Gambar 12. Respon impact-echo dari pelat beton padat lantai jembatan Cikerenceng

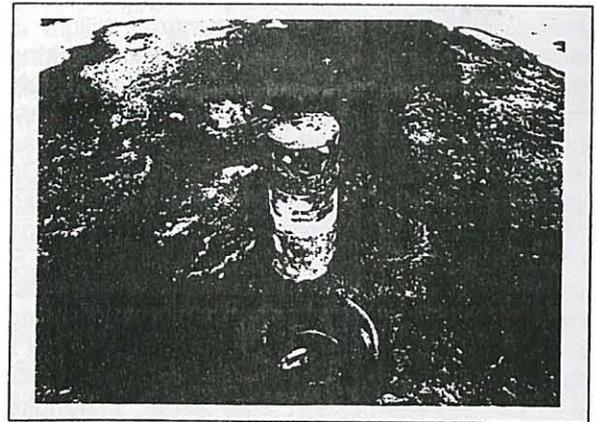
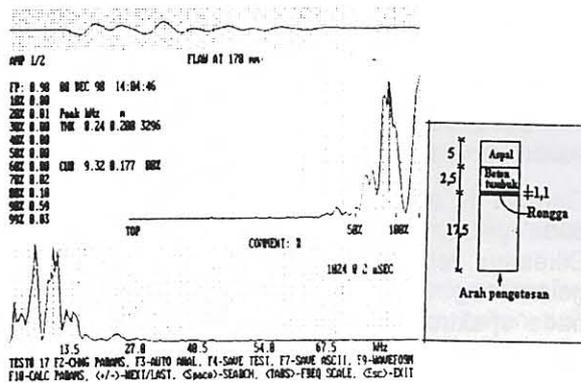


Foto 2. Hasil core drill pada bagian pelat beton padat lantai Jembatan Cikerenceng (verifikasi gambar 12)



Gambar 13. Respon impact-echo dari pelat beton retak lantai jembatan Cikerenceng

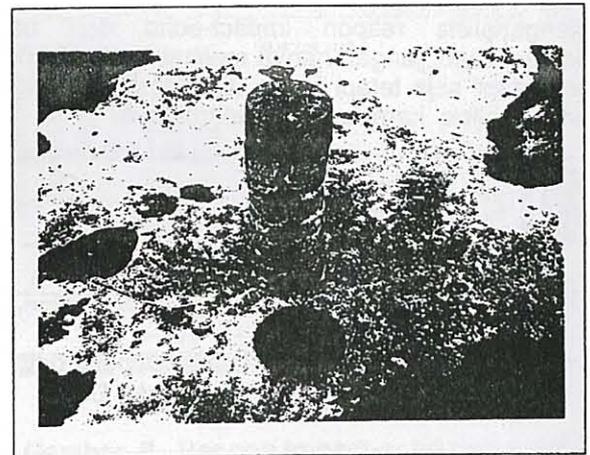


Foto 3. Hasil core drill pada bagian pelat beton retak lantai Jembatan Cikerenceng (verifikasi gambar 13)

VII. KESIMPULAN

Dari hasil pemeriksaan kondisi pelat beton lantai jembatan dengan impact-echo, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Metode impact-echo berguna dan dapat diandalkan untuk memeriksa bagian dalam struktur pelat beton secara umum (tidak detail) tanpa menimbulkan kerusakan, menghemat waktu serta memudahkan dalam pelaksanaan pemeriksaan di lapangan karena data hasil pemeriksaan dapat langsung direkam dalam harddisk/disket komputer. Untuk mengetahui kondisi pelat beton lebih detail diperlukan deteksi lain yang lebih spesifik atau dengan metode destruktif.
- Metode impact-echo dapat digunakan untuk memeriksa pelat beton dengan overlay campuran beraspal sepanjang ketebalan pelat beton dan lapisan overlay campuran beraspal tidak lebih dari 500 mm dan temperatur permukaan campuran beraspal tidak lebih dari 37° C.

- Metode impact-echo sangat berguna untuk pemeriksaan pelat beton lantai jembatan, karena bisa digunakan pada pelat beton dengan overlay beraspal, dan tidak terpengaruh oleh getaran lalu lintas yang lewat, sehingga tidak perlu menyeting lain lintas kendaraan. Hal ini sangat penting karena dapat menghemat waktu dan biaya pemeriksaan.
- Mengidentifikasi dan menginterpretasikan respon dan karakteristik spektrum dari struktur solid dan rusak dari hasil pemeriksaan awal sangat penting, karena sangat membantu dalam menganalisis hasil pemeriksaan selanjutnya.
- Supaya hasil interpretasi dapat diandalkan, maka data pemeriksaan impact-echo harus dianalisis oleh ahli yang berpengalaman yang memahami prinsip metode impact-echo dan karakteristik spektrum hasil pemeriksaan untuk bisa menginterpretasikan jenis dan lokasi kerusakan dalam struktur beton.
- Metode impact-echo hanya bisa diaplikasikan pada tipe struktur beton yang telah ada

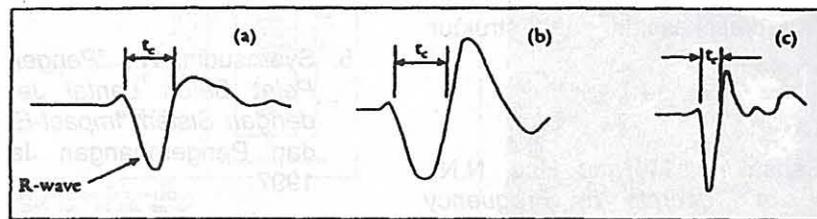
programnya, yaitu struktur pelat termasuk pelat dengan overlay campuran beraspal, balok/kolom dengan penampang bulat, persegi, persegi panjang, penampang "I" dan penampang bulat berongga (seperti pipa beton), tidak bisa diaplikasikan pada struktur lain.

DAFTAR PUSTAKA

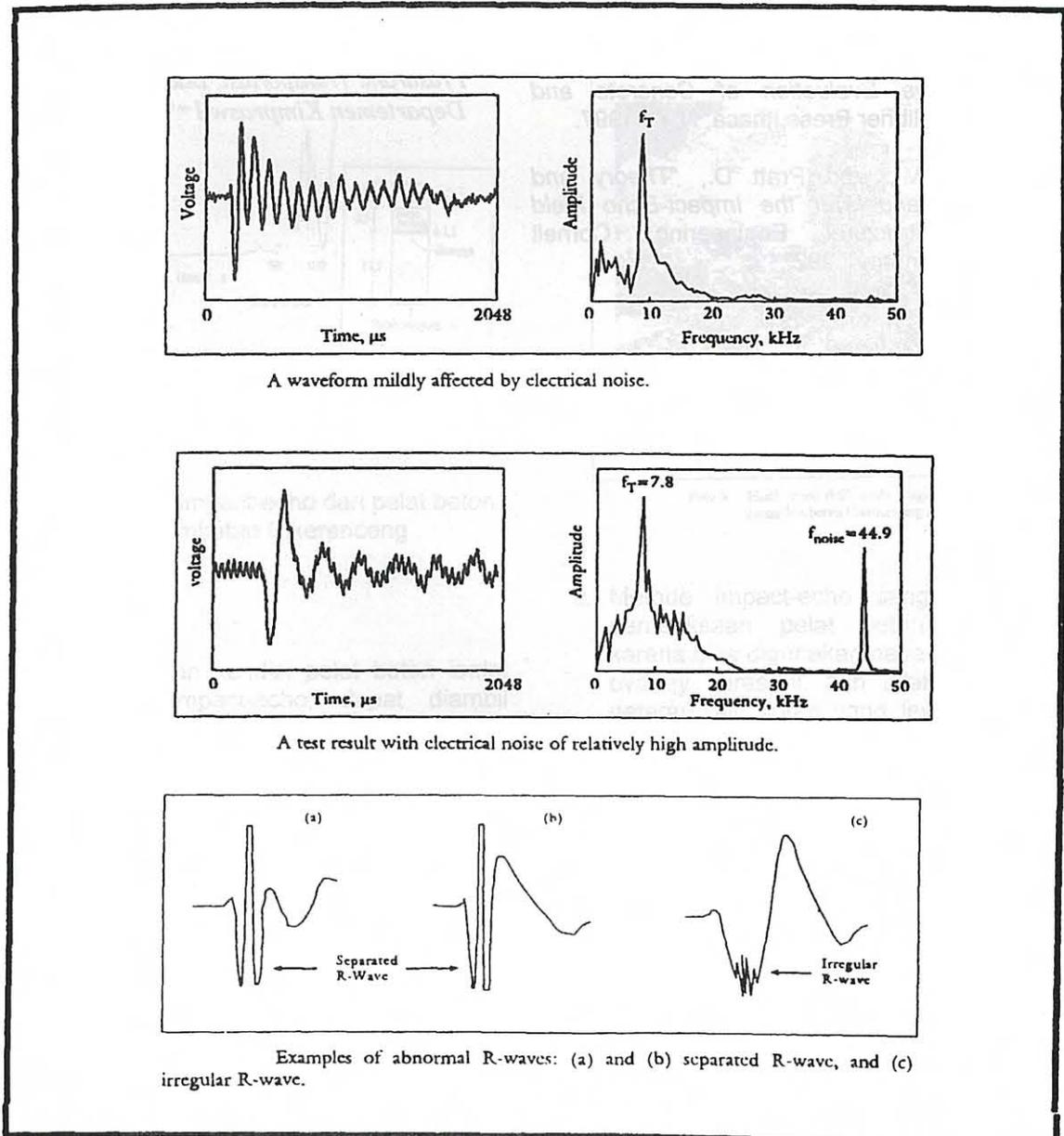
1. Corino, N.J., Sansalone, M, and Hsu, N.N., "Flaw Detection in Concrete by Frequency Spectrum Analysis of Impact-Echo Waveform", in International Advances in Nondestructive Testing, 12^e Edition, W.J Mcgonnagle, Ed., Gordon & Breach science Publisher, New York, 1986.
2. Sansalone, M., and Street, W.B., "Impact-Echo Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry", Bullbrier Press Ithaca, N.Y., 1997.
3. Sansalone, M., and Pratt D., "Theory and Operation Manual for the Impact-Echo Field System", Structural Engineering, Cornell University, January 1992.
4. Sansalone, M., and Corino, N.J., "Laboratory and Field Studies of the Impact Echo Method for Flaw Detection in Concrete," in Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication of The American Concrete Institute, 1988.
5. Syamsudin, N., "Pengembangan Pemeriksaan Pelat Beton Lantai Jembatan Rangka Baja dengan Sistem Impact-Echo ", Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Bandung, Maret 1997.

Penulis :

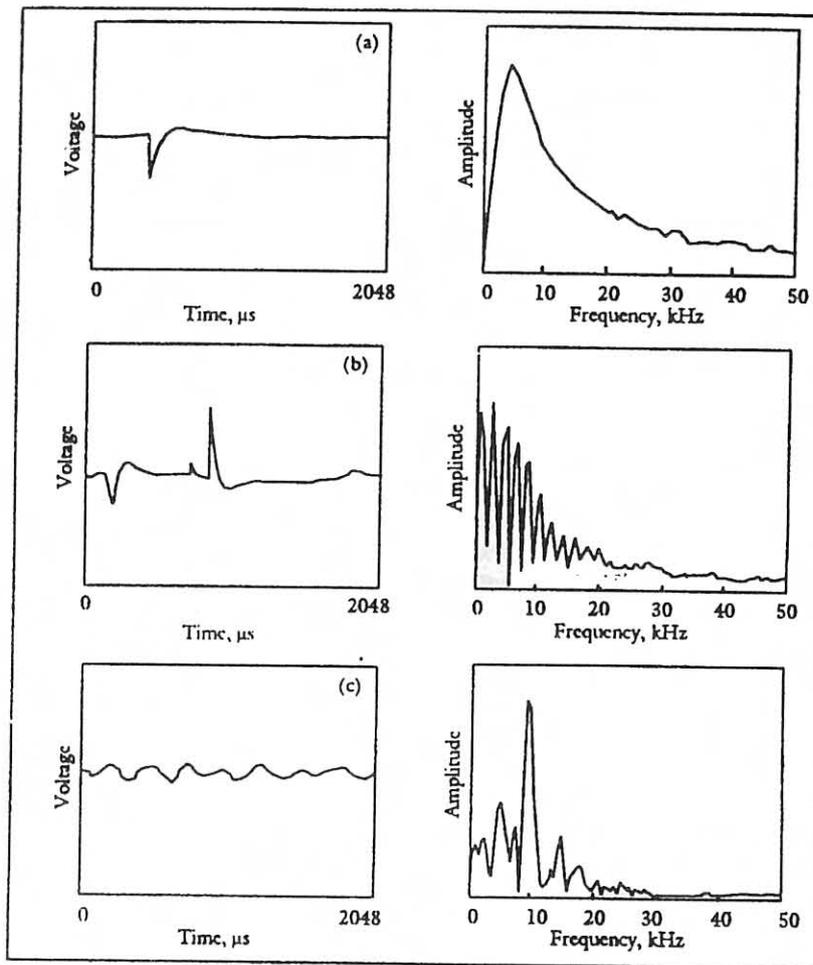
Ir. Nandang Samsudin, Perekayasa di bidang Konstruksi, di Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi. Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil



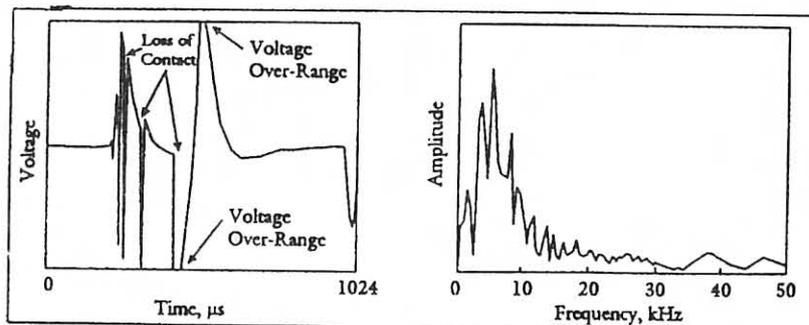
Gambar 14. Karakteristik gelombang-R yang benar (1)



Gambar 15. Karakteristik Gelombang-R yang salah (1)



Examples of "bad" waveforms (left) and their spectra (right).



Response produced over-ranging of the transducer and intermittent loss of contact with the surface.

Gambar 16. Karakteristik Gelombang – R yang salah (1)



UPAYA MODIFIKASI ASPAL DENGAN POLIMER AGAR DAPAT KOMPATIBEL

Tjitjik Wasiah Suroso

RINGKASAN

Aspal yang telah dimodifikasi dengan polimer sering terjadi pemisahan antara polimer dan aspal dan ini disebut aspal polimer tidak kompatibel. Upaya agar modifikasi aspal dan polimer dapat kompatibel dilakukan percobaan dengan memvariasikan minyak berat dan minarex sampai diperoleh penetrasi aspal kurang lebih 120. dilanjutkan analisa kimia untuk menentukan kadar asphalten, saturated, aromatik dan resin, dan indek ketidak stabilan koloidal (I_c). Pada aspal yang mempunyai $I_c < 0.15$ dilakukan penambahan polimer sebanyak 5%.

Hasil percobaan ini, dengan menambahkan minyak berat sebanyak 40% kedalam aspal dapat menurunkan indek ketidak stabilan koloidal dari 0,62 menjadi 0.137. Campuran yang terdiri dari 100 bagian aspal, 40 bagian Minyak berat, dan 5 bagian polimer, menghasilkan aspal polimer stabil dalam penyimpanan. Sehingga diperoleh aspal polimer yang kompatibel, dan telah memenuhi syarat baik ditinjau dari mutu aspal polimer maupun mutu campuran beraspal.

Penelitian ini mempunyai arti penting dalam upaya kemandirian akan ketergantungan aspal modifikasi dari luar negeri, sehingga dapat menghemat devisa negara.

SUMMARY

Separation of polymer and asphalt frequently occur in polymer modified asphalt which called incompatible. In order to be compatible between modified asphalt and polymer, experiment was conducted by varying heavy oil and menarex to obtain asphalt penetration of ± 120 . Then followed by chemical analysis to determine asphalten content, saturated, aromatic, resin and coloidal instability (I_c). 5% of polymer was added to asphalt with $I_c < 0.15$.

By adding 40% of heavy oil to asphalt can reduce coloidal instability index from 0.62 to 0.137. A mixture containing of 100% of asphalt, 40% of heavy oil and 5% of polymer yields stable asphalt polymer so that compatible and specified asphalt polymer can be obtained. This finding is considered important in reducing the need of imported modified asphalt.

I. PENDAHULUAN

Apabila perkerasan jalan menggunakan aspal yang mempunyai titik lembek rendah, perkerasan jalan akan peka terhadap perubahan suhu, sehingga bila digunakan pada daerah dengan lalu lintas berat dan padat, suhu udara tinggi, perkerasan jalan akan mudah sekali mengalami kerusakan dini berupa alur atau perubahan bentuk (deformasi).

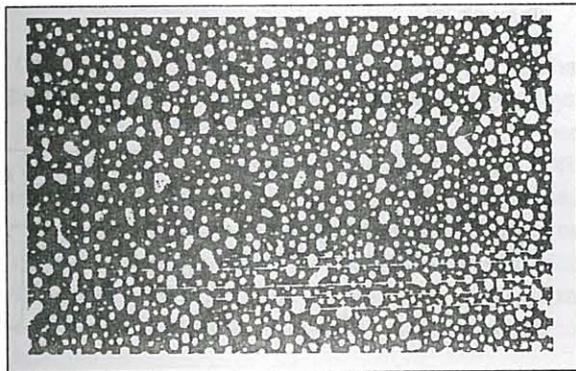
Dengan penambahan polimer diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal asli yaitu menaikkan titik lembek aspal sehingga aspal tidak mudah

terpengaruh suhu, menaikkan kekakuan aspal berakibat perkerasan jalan dapat tahan terhadap lalu lintas padat dan beban berat. Namun kendala pada aspal yang dimodifikasi dengan polimer adalah terjadinya pemisahan antara fraksi padat (Asphalten) dibagian bawah dan polimer plus fraksi cair (Malten) dibagian atas, sehingga aspal tidak stabil. Hal ini disebut aspal tidak kompatibel dengan polimer.

Masalah tersebut diatas dikarenakan polimer yang digunakan untuk modifikasi aspal merupakan bahan padat sehingga menaikkan kekentalan dan menaikkan titik lembek aspal. Penambahan

polimer kedalam aspal harus pada kadar asphalten yang rendah, pada kadar malten yang tinggi, karena pada kadar asphalten tinggi maka polimer akan menyerap fraksi cair / malten, kondisi ini mengganggu kestabilan asphalten yang akan menyebabkan asphalten mengendap dan polimer bersama malten naik kepermukaan. Akibatnya bagian bawah keras bagian atas lunak(aspal tidak kompatibel dengan polimer). Oleh karena itu dalam penyimpanan memerlukan pengadukan terus-menerus yang tentunya menambah biaya dan kurang praktis. Sedangkan pada penggunaan dilapangan aspal yang tidak kompatibel akan menyebabkan mudah lepasnya aspal dan polimer .

Umumnya polimer tidak larut dalam aspal namun terdispersi dalam matrik aspal seperti terlihat pada gambar hasil Scanning Electron Microscop (SEM) *dibawah ini .



Gambar 1. Penyebaran Poly Ethylen dalam aspal dari hasil SEM

Menurut Wardlaw & Shuter (1992) agar polimer dapat bercampur dengan aspal maka susunan komposisi aspal harus memenuhi kriteria atau mempunyai indeks ketidak stabilan koloidal I_c lebih kecil dari 0.15. I_c didefinisikan sebagai perbandingan antara fraksi yang didispersi (jumlah kadar sphalten A dan kadar saturated S) dengan fraksi pendispersi (Jumlah kadar resin R dan aromatis AR) dirumuskan sebagai berikut :

$$I_c = \frac{A + S}{R + AR} < 0.15$$

Dari formula ini terlihat bahwa untuk mendapatkan aspal yang mempunyai $I_c < 0,15$ maka upaya yang dilakukan adalah memperbesar jumlah kadar resin ditambah kadar aromatis atau memperkecil jumlah kadar asphalten dan kadar saturated (parafin), dengan jalan menambah bahan pelunak. Dalam penelitian ini digunakan minyak berat dan minarex, dilanjutkan dengan pengujian kimia (ASTM, D.2006) untuk menghitung indeks ketidak stabilan

koloidal (I_c). Aspal yang mempunyai $I_c < 0,15$ digunakan sebagai bahan dasar modifikasi aspal dengan polimer.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh aspal polimer yang kompatibel, dengan melakukan pengujian kimia aspal meliputi : indeks ketidak stabilan koloidal (I_c), pengujian stabilitas penyimpanan dan pengujian mutu aspal polimer dan mutu campuran beraspal. Diharapkan penggunaan aspal polimer yang kompatibel untuk perkerasan jalan adalah agar modifikasi aspal dengan polimer dapat stabil tanpa terjadi pemisahan antara aspal dan polimer baik dalam penyimpanan maupun pada pelaksanaan .

II. BAHAN DAN METODA

Methodologi penelitian membuat aspal polimer yang kompatibel dengan melakukan percobaan laboratorium yang meliputi :

1. Membuat penetrasi aspal = 120 dengan memvariasikan beberapa kadar minyak berat dan minarex , kemudian dilakukan analisa kimia aspal , untuk menghitung harga I_c dan dipilih harga $I_c < 0.15$.
2. Dari penambahan minyak berat dan minarex yang terpilih dilakukan penambahan polimer sebanyak 5%. Untuk mengetahui apakah aspal polimer dapat kompatibel atau tidak, dilakukan pengujian stabilitas penyimpanan dilanjutkan pengujian lainnya yang dibutuhkan untuk bahan jalan .

2.1. Bahan dan alat serta methoda pengujian.

Bahan.

Aspal pen 60, minyak berat , minarex diperoleh dari Pertamina Unit Pengilangan III Cilacap. Sedangkan low density poly ethylen (LDPE) produksi dalam negeri.

Alat.

Mixer Merk Labbro, dari Inggris yang dilengkapi pemanas dan pengatur kecepatan, digunakan untuk pengadukan aspal dan polimer. Wadah yang terbuat dari logam kapasitas 2 liter digunakan untuk pencampuran aspal dan polimer .Tabung dari baja yang dilengkapi dengan kran bagian atas dan bagian bawah kapasitas 1,5 kg untuk pengujian stabilitas penyimpanan. Gelas kimia , corong , kertas saring, oven dan timbangan analitik untuk pengujian kimia aspal . Satu set alat pengujian mutu aspal yang terdiri dari penetrometer untuk menentukan penetrasi aspal, Cincin dan bola baja untuk menentukan titik lembek aspal, duktiliti meter untuk menentukan duktilitas aspal, dan daya kerut aspal, viscosimeter Merk Brook File digunakan untuk

mengukur kekentalan aspal sebelum dan sesudah pemanasan.

2.2. Standar pengujian .

Standar pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah standar pengujian untuk bahan jalan yang berlaku di Indonesia saat ini, serta sebagian mengacu pada literatur dan spesifikasi asing .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.4. Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pen 60 yang harus memenuhi persyaratan yang ditentukan untuk bahan jalan. Hasil pengujian mutu aspal pen 60 seperti tertera pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1.
HASIL PENGUJIAN MUTU ASPAL PEN 60

No	Jenis pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Penetrasi ,25 °C,100 g .	0.1mm	63	60 - 79
2	Titik lembek .	° C	48	48 - 56
3	Duktilitas ,25 °C	cm	>140	min 100
4	Titik nyala .	° C	320	225
5	Kelarutan .	%	99 +	min. 99
6	Penurunan berat TFOT .	%	0.04	max .0.8
7	Penetrasi setelah pemanasan, 25 °C,100 g	0.1mm	94	min. 50
8	Duktilitas setelah pemanasan,25 °C	cm	>140	min
9	Berat jenis , 25 °C	gr / cc	1.03	min. 1.0

3.2. Minyak berat dan minarex.

Hasil pengujian mutu minyak berat (OR) dan minarex (OM) seperti tertera padaTabel 2 dibawah ini.

Tabel 2.
HASIL UJI MINYAK BERAT (OR) DAN MINAREX (OM)

No.	Jenis pengujian	Satuan	Hasil	
			OR	OM
1	Kekentalan 60 ° C	C St	78	29
2	Titik nyala	° C	270	240
3	Penurunan berat	% berat	0.01	0.16
4	Berat Jenis	gr / cc	1.006	0.998
5	Kadar Saturated	% berat	26,8	34,0

Dari tabel 2 tersebut di atas menunjukkan bahwa minyak berat jenis minyak berat (OR) lebih baik dari minarex (OM), karena :

- 1 mempunyai penurunan berat = 0.01 %, lebih kecil dari pada penurunan berat OM = 0.16% sehingga pada penggunaan akan lebih stabil.
- 2 mempunyai kadar saturated = 26,8%, lebih kecil dari kadar saturated OM=34% ,sehingga harga lc OR diperkirakan akan lebih kecil dari lc OM karena pembilang akan menjadi kecil. Hal ini diperkirakan akan menghasilkan campuran yang kompatibel.

3.3. Polimer

Polimer yang digunakan adalah Poly Ethylen jenis low density produksi dalam negeri. Hasil pengujian mutu Poly Ethylen seperti tertera pada Tabel. 3 dibawah ini.

Tabel 3.
HASIL UJI POLY ETHYLEN

No	Jenis Uji	Hasil	Satuan
1	Melt Flow Index	5	G / 10 menit
2	Berat Jenis	0.921	g / ml
3	Titik lembek	135	° C

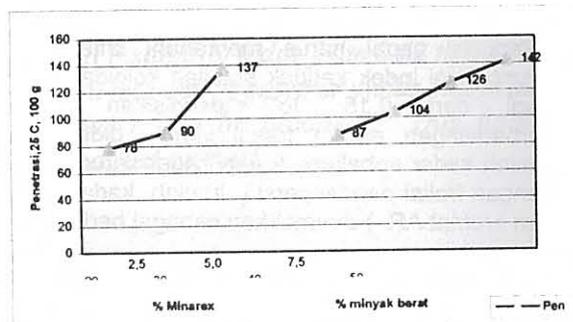
3.4. Aspal pen 120.

Untuk mendapatkan aspal pen 120 dilakukan dengan memvariasikan penambahan minyak berat (OR) dan minarex (OM) kedalam aspal pen 60. Hasil pengujian seperti tertera pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4.
HASIL UJI % MINYAK BERAT VS PENETRASI DAN TITIK LEMBOK

Uji	AC 60 + % OR				AC 60 + % OM			Ac 60
	20	30	40	50	2,5	5	7,5	
Penetrasi (0,01mm)	87	104	126	142	78	90	137	68
Titik .lembek (°C)	46	43,8	42,5	41	48	45,7	44,4	49

Dari Tabel 4 tersebut di atas untuk memperoleh aspal dengan pen 120 dilakukan penambahan pada aspal pen 60 adalah dengan 40 %Minyak berat (OR) atau dengan 7% Minarex (OM) seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. % Minyak berat, Minarex Vs Penetrasi Aspal.

3.5. Analisa Kimia aspal

Pengujian ini untuk mendapatkan harga indek ketidak stabilan aspal, terhadap aspal dengan penetrasi 120. Hasil pengujian kimia aspal pen 60, pen 120 OR dan pen 120 OM seperti tertera pada tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5
HASIL PENGUJIAN KIMIA ASPAL PEN 60 ,
PEN 120 OR , PEN 120 OM

Uji	Aspal pen 60			Aspal pen 120 OM*			Aspal pen 120 OR**		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A	19,8	20,05	18,3	2,4	4,7	6,3	,5	,5	2
S	18,6	18,19	16,5	15,6	11,3	7,7	3,9	3,5	5,8
R	20,10	20,19	21,2	15,5	18,2	22,8	19,9	15,8	17,3
AR	41,50	41,46	44,0	56,5	55,8	54,2	68,7	72,2	69,7
Ic	0,63	0,62	0,54	0,388	0,388	0,035	0,013	0,136	0,147

Keterangan :

*) = Aspal pen 120 dari Aspal pen 60 ditambah minarex

***) = Aspal pen 120 dari aspal pen 60 ditambah minyak berat

A = Kadar asphalten

S = Kadar saturated

AR = Kadar aromatik

R = Kadar resin

Dari hasil pada Tabel 5 tersebut diatas terlihat bahwa aspal dengan penetrasi 120 mempunyai harga Ic lebih kecil dari aspal pen 60 . Aspal pen 120 dari hasil penambahan minyak berat (OR) kedalam aspal pen 60 lebih baik dari aspal pen 120 hasil penambahan aspal pen 60 dengan minarex (OM), karena mempunyai harga Ic lebih kecil dari 0,15. Sehingga diperkirakan akan dapat membuat campuran dengan polimer menjadi kompatibel

Terhadap aspal pen 120 OR dilakukan penambahan poly ethylen sebesar 5 % . kemudian dilakukan pengujian stabilitas penyimpanan. Uji ini untuk mengetahui apakah aspal dapat menyatu dengan polimer (kompatibel), dilanjutkan dengan pengujian lainnya antara lain indek pelapukan dan kecepatan deformasi, pengujian mutu aspal polimer dan mutu campuran beraspal.

3.6. Stabilitas penyimpanan.

Pengujian stabilitas penyimpanan terhadap aspal pen 60 , aspal 120 OR dan aspal pen120 OM., dilakukan dengan menguji titik lembek bagian atas dan bagian bawah pada satu , tiga dan lima hari penyimpanan dalam oven pada temperatur 160°C. Hasil pengujian aspal polimer dinyatakan stabil apabila tidak ada pemisahan antara asphalten dan polimer yang dinyatakan oleh perbedaan titik lembek bagian atas dan bagian bawah tidak melebihi 5°C. Hasil pengujian seperti tertera pada Tabel 6, dibawah ini.

Tabel 6.
HASIL UJI STABILITAS PENYIMPANAN ASPAL
PEN 60 DAN ASPAL POLIMER

Contoh	Titik lembek (° C)					
	1 hari		3 hari		5 hari	
	Atas	bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
AC 60	49	49	50	50	51	51
AC 60 + 5 % PE	47.5*	53.5*	49.2	53.5	50.5	54
AC120 OR+5% PE	58	58	58	58	59	59
AC120 OM+5% PE	56 *	63 *	62	63	65	64

Keterangan :

AC 60 = Aspal pen 60.

AC 60 + 5 % PE = Aspal pen 60 ditambah 5 % low density poly ethylen.

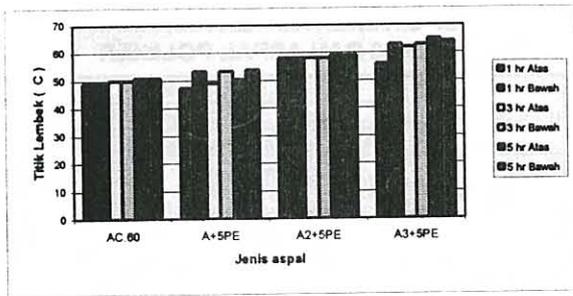
AC120 OR+5% PE = Aspal pen 120 OR ditambah 5 % low density poly ethylen

AC120 OM+5% PE = Aspal pen 120 OM ditambah 5 % low density poly ethyle.

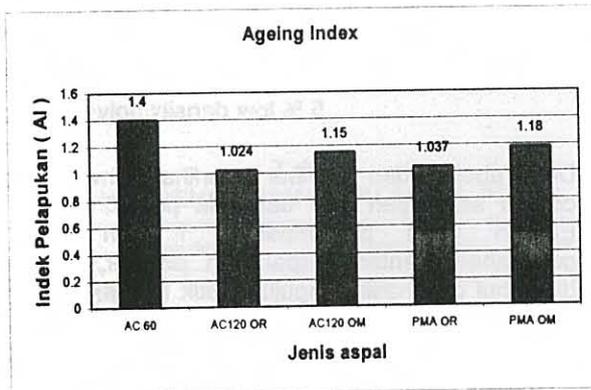
Dari Tabel 6 dan Gambar 3 terlihat bahwa pada contoh aspal pen 120 dari OM plus 5 % Poly Ethylen pada penyimpanan 1 hari terjadi pemisahan antara aspal dan polimer, hal ini diketahui dari hasil pengujian titik lembek bagian atas = 56 °C berbeda lebih dari 5 °C dari titik lembek bagian bawah= 62 ° C, sedangkan pada contoh aspal pen 120 OR plus 5 % Poly Ethylen tidak terjadi pemisahan karena titik lembek bagian atas dan bagian bawah pada uji 1 , 3 , 5 hari hampir tidak ada perbedaan walaupun ada perbedaan hanya 1 ° C atau kurang dari 5° C, yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan hasil ini aspal polimer yang dimodifikasi dengan OR dapat kompatibel dengan aspal sehingga tidak terjadi pemisahan antara aspal dan polimer, dengan demikian berarti polimer dapat terdespersi secara homogen.

3.7. Indek pelapukan

Ketahanan terhadap pelapukan dinyatakan sebagai perbandingan kekentalan sesudah pemanasan dengan kekentalan sebelum pemanasan yang umum disebut dengan indek pelapukan (Aging Index). Hasil pengujian ketahanan terhadap pelapukan contoh aspal pen 60 dan aspal polimer dari OR dan OM ditunjukkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan OR mampu menghasilkan ketahanan terhadap pelapukan lebih kecil dari aspal yang ditambah OM, demikian pula ketahanan terhadap pelapukan aspal polimer dari aspal plus OR lebih kecil atau lebih tahan dari pada aspal plus OM. Sehingga dapat diambil kesimpulan untuk menaikkan penetrasi aspal menjadi pen 120 disarankan menggunakan minyak berat (OR) karena mempunyai ketahanan terhadap pelapukan lebih baik dari pada menggunakan minarex (OM).



Gambar 3. Stabilitas penyimpanan aspal pen 60 dan aspal polimer.



Gambar 4 Indek pelapukan aspal pen 60 dan aspal polimer

3.8. Campuran beraspal.

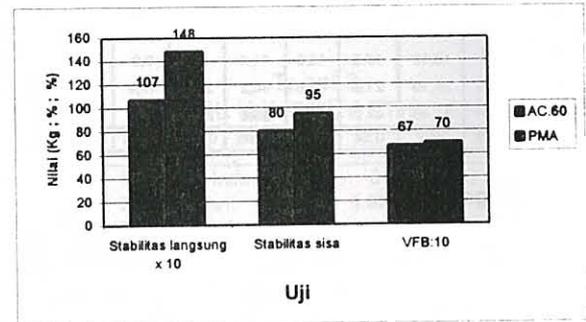
Terhadap aspal polimer dari aspal pen 60 ditambah 40 % OR , ditambah 5 % polimer dilakukan pengujian campuran beraspal dengan menggunakan Uji Marshall Hasil parameter Marshall pada kadar aspal optimum campuran beraspal dari aspal pen 60 dan aspal polimer yang dihasilkan seperti tertera pada Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7
HASIL UJI PARAMETER MARSHALL PADA KADAR ASPAL OPTIMUM

No	Pengujian	Satuan	Hasil		Persya ratan
			Pen 60	+ 5% PE	
1	Kadar aspal optimum	%	5.7	5.4	-
2	Kepadatan	gr / cc	2.320	2.370	-
3	VMA	%	17.8	16.0	min. 16
4	VFB	%	67	70	min. 65
5	VIM	%	3	3.5	min. 3
6	Stabilitas langsung	kg	1070	1480	min. 800
7	Kelelahan	mm	4	2.8	min. 2
8	Marshall Quotient	kg/mm	275	490	min. 200
9	Stabilitas sisa	%(kg)	80	95	min. 75

Dari hasil pengujian Marshall pada tabel 7 terlihat penambahan polimer dapat menaikkan stabilitas langsung, stabilitas sisa rendaman sehingga dengan penambahan polimer diperkirakan

perkerasan jalan akan tahan terhadap beban berat dan tahan terhadap genangan air , seperti tertera pada Gambar 5.



Gb.5. Stabilitas langsung, Stab Sisa, Rongga terisi aspal (VFB) Aspal pen 60 (AC 60) dan aspal polimer (PMA)

3.9. Pengujian Stabilitas dinamis dan Deformasi permanen.

Pengujian ini untuk mengetahui stabilitas dinamis dan kecepatan perubahan bentuk pada perkerasan jalan dengan cara stimulasi dilaboratorium menggunakan alat Wheel Tracking Machine. Hasil pengujian stabilitas dinamis, dan kecepatan deformasi, contoh aspal pen 60 dan aspal polimer (aspal pen 120 dari OR plus 5 % Poly Ethylen) seperti tertera pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8.
HASIL PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS DAN KECEPATAN DEFORMASI ASPAL PEN 60 DAN ASPAL POLIMER (PMA)

Campuran	Kedalaman alur rata-rata(mm) Pada waktu percobaan (menit)					Stabilitas Dinamis (pass/mm)	Kec.Deformasi (mm/menit)
	1	15	30	45	60		
Pen 60	0.95	2.41	3.19	3.70	4.33	1222	0.036
PMA	1.02	2.03	2.58	2.94	3.22	2357.1	0.019

Dari hasil pada Tabel 8 tersebut di atas, menunjukkan penambahan polimer dapat menurunkan kecepatan deformasi dari 0.036 mm/menit menjadi 0.019 mm /menit dan menaikkan stabilitas dinamis dari 1222 pass/ mm menjadi 2357.1 pass/mm. Hal ini menunjukkan aspal polimer (PMA) yang dihasilkan lebih tahan terhadap kecepatan kerusakan akibat lalu lintas berat dan padat.

3.10. Hasil Pengujian mutu aspal Polimer .

Hasil pengujian mutu aspal pen 60 dan aspal polimer dari campuran aspal pen 60 ditambah 40 % OR ditambah 5 % Poly Ethylen (PMA) seperti tertera pada Tabel 9 dibawah ini.

Tabel 9
HASIL PENGUJIAN MUTU ASPAL PEN 60 DAN
ASPAL POLIMER (PMA)

No	Jenis Pengujian	Metoda	Satuan	Hasil	
				Pen 60	PMA
1	ASPAL ASLI				
	- Penetrasi, 100 gr, 25 ° C	SNI.06-2456-91	0.1mm	63	64
	- Titik lembek	SNI.06-2434-91	° C	48	58
	- Duktilitas	SNI.06-2432-91	cm	>140	>140
	- Berat Jenis		gr / cc	1.03	1.023
	- Penetrasi Indeks		-	0,6	+ 1.2
	- Daya Kerut	ASTM.D113-85	%	10	50
	- Temperatur campuran	Pd.M.01-2000-03	° C	160	168
	- Temperatur pemadatan	Pd.M.01-2000-03	° C	139	150
	2	SETELAH RTFO			
- Penurunan berat		Pd.M.01-2000-02	%	0.080	0.083
- Penetrasi		SNI.06-2456-91	mm	54 (79)	50 (79)
- Duktilitas		SNI.06-2432-91	cm	>140	85
- Indeks Pelapukan		Pd.M.01-2000-03	-	1.40	1.037

Dari hasil pada Tabel 9, mutu aspal polimer yang dihasilkan lebih baik dari aspal pen 60 hal ini ditunjukkan dari hasil titik lembek aspal polimer (PMA) mempunyai titik lembek (58°C) lebih besar dari titik lembek aspal pen 60 (48°C) sehingga aspal polimer yang dihasilkan lebih tahan terhadap temperatur udara tinggi. Aspal polimer mempunyai nilai daya kerut (50%) yang lebih tinggi dari aspal pen 60 (10%) sehingga aspal polimer lebih tahan terhadap beban lalu lintas (kembali ke bentuk semula), nilai indeks pelapukan (1,037) lebih kecil dari Indeks pelapukan aspal pen 60(1,4), sehingga aspal polimer lebih tahan terhadap pelapukan dibandingkan dengan aspal pen 60. Serta temperatur pencampuran aspal polimer dengan agregat tidak terlalu berbeda jauh dari aspal pen 60, sehingga kemudahan pencampuran sama dengan aspal pen 60. Dengan kelebihan sifat ini aspal polimer dapat bertahan lebih lama dari aspal biasa.

Penelitian ini mempunyai arti penting dalam upaya kemandirian akan ketergantungan aspal modifikasi dari luar negeri, meningkatkan sumber daya masyarakat kita dan sekaligus penghematan devisa negara.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tersebut di atas, dapat disimpulkan agar aspal dan polimer dapat kompatibel, hal tersebut bisa diketahui dari hasil pengujian stabilitas penyimpanan tidak mengalami pemisahan antara polimer dan aspal, maka aspal

pen 60 perlu dilunakkan dengan minyak berat hasil pengilangan minyak bumi jenis minyak berat sebesar 40 % dari berat aspal pen 60, ditambah 5 % Polimer ,hal ini terlihat dari :

1. Indeks ketidak stabilan aspal yang ditambah minyak berat (=0,137) lebih kecil 0,15 dan lebih kecil dari aspal ditambah dengan Minarex (=0,388), sehingga minyak berat lebih baik dari pada minarex .
2. Aspal modifikasi dengan minyak berat yang dihasilkan lebih stabil dalam penyimpanan dibandingkan dengan menggunakan Minarex atau tanpa menggunakan kedua bahan tersebut.
3. Mutu aspal polimer yang dihasilkan memenuhi persyaratan bahan jalan dan lebih baik dari aspal asli sehingga dapat memperpanjang umur pakai (life time)
4. Untuk membuat agar aspal modifikasi dapat kompatibel maka bahan utama aspal harus mempunyai nilai penetrasi tinggi (lunak) .

DAFTAR PUSTAKA.

1. Brief # 45 AARR (Australian Asphalt Road Research, 2000)
2. D.J Walsh . J.S. Higgins , A. Maconnache;" *Polimer Blends and Mixtures*" Proceeding of Nato Advanced Study Institute on Polimer Blends and Mixtures Imperial College, UK , Juli 2 – 4, (1984) .
3. Hose G : " *The Latest Development and Road Surfacing Technology*." HPJI , Mobil Oil , Jakarta , Agustus , (1993) .
4. JWH.Oliver;" *Proceeding National Workshop on Polimer Modified Binder*" ARR 183 ,Australia Road Research Board,Victoria 3133,June , (1999).
5. Shell Bitumen ,"*The Shell Bitumen Hand Book* ", Sell Bitumen U.K, Juli, (1998)
6. Wardlaw / Shuler ;" *Polimer Modified Asphalt Binder* " , ASTM –STP-1108 ,1916 Race Street,Philadelpia ,May ,(1992) .

Penulis :

Ir. Tjitjik W Suroso, Peneliti Madya, Puslitbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.



PERBANDINGAN UMUR RENCANA ANTARA AC-MODIFKASI DENGAN AC-KONVENSIONAL MENGGUNAKAN PROGRAM KEN LAYER

*Madi Hermadi
Siegfried*

RINGKASAN

Salah satu cara untuk memperkuat kekuatan struktural suatu sistem perkerasan beraspal yaitu dengan memodifikasi aspal sehingga memiliki sifat-sifat yang lebih baik. Retona adalah salah satu bahan (dibuat dari Asbuton) yang dapat digunakan untuk memodifikasi aspal. Namun sampai sejauhmana perkerasan beraspal modifikasi (AC-Modifikasi) ini lebih unggul dibanding perkerasan beraspal konvensional (AC-Konvensional), perlu dibuktikan secara teknis. Untuk maksud tersebut, pada tulisan ini akan disajikan hasil kajian perbandingan mutu antara AC-Modifikasi dengan AC-Konvensional. Kajian perbandingan mutu ini ditinjau dari segi umur perkerasan beraspal menggunakan program Ken Layer.

SUMMARY

One of the ways to increase the structural strength an asphalt pavement system is by modifying the asphalt in such the way that it will have better characteristic. Retona is a substance (made of Asbuton) that is used to produce the modified asphalt. However, how far the modified asphalt pevement (AC-Modidified) is better than conventional asphalt pavement (AC-Coventional), it should be technically proved. For that reason, this paper provides the result of comparation test between modified asphalt pavement and conventional asphalt pavement. The comparation tests are based on the life time of asphalt pavement using Ken Layer software.

I. PENDAHULUAN

Jalan sebagai sarana transportasi mempunyai kebutuhan untuk tahan baik secara struktural maupun fungsional. Secara struktural ketahanan ini diberikan dalam parameter umur rencana sistem perkerasan yang ada sehingga masih kuat untuk dilewati oleh lalu lintas. Sedangkan secara fungsional ketahanan ini diberikan dalam parameter kenyamanan berkendara bagi pengguna jalan yang melewati jalan tersebut. Kedua parameter ini harus saling mengisi untuk mempertahankan kelayakan dari suatu ruas jalan.

Kekuatan struktural suatu sistem perkerasan disumbangkan mulai dari tanah dasar, lapis pondasi bawah, lapis pondasi, maupun lapis permukaan. Pada perkerasan lentur salah satu tipikal bahan dari lapis permukaan adalah campuran beraspal yang memberikan sumbangan terbesar terhadap kekuatan struktural dari suatu sistem perkerasan.

Campuran beraspal secara garis besarnya terdiri atas bahan agregat (kasar, sedang, dan halus) dan aspal sendiri yang saling berinteraksi membentuk suatu lapisan perkerasan. Kalau dilihat lebih detail lagi, kekuatan struktural suatu campuran beraspal tentu juga merupakan sumbangan dari agregat dan aspal itu sendiri.

Dilihat dari sisi ini, para ahli mengambil kesimpulan bahwa untuk memperkuat kekuatan struktural suatu sistem perkerasan, salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah memperkuat sifat-sifat dari aspal itu sendiri dengan menggunakan teknologi bahan yang tersedia.

Saat ini, berbagai teknologi telah tersedia untuk meningkatkan sifat-sifat suatu jenis aspal. Teknologi tersebut bervariasi mulai dari peningkatan pola produksi dari aspal itu sendiri sampai dengan pencampuran bahan aspal dengan suatu bahan lain yang akhirnya menghasilkan suatu aspal dengan sifat-sifat yang lebih baik. Jenis aspal yang telah mengalami peningkatan sifat-sifat ini disebut dengan aspal modifikasi.

Aspal modifikasi dapat berupa aspal polimer, yaitu aspal yang ditambah suatu bahan polimer (elastomer atau plastomer) sehingga memiliki sifat yang lebih baik. Contoh dari aspal modifikasi jenis ini adalah Aspal karet, Styrelf, Cariphalt, Telkobex, Roadex. Selain ditambah polimer, aspal modifikasi juga dapat diperoleh dengan cara menambahkan suatu additive ke dalam aspal. Additive tersebut dapat berupa aspal alam seperti Retona, Gilsonit, Buton Granular Asphalt (BGA), Asbuton Active Filler (AAF), Buton Rock Asphalt (BRA), Trinidad Lake Asphalt (TLA), atau dapat juga berupa bahan

lainnya seperti Chemcrete dan Carbon Black. Pada tulisan ini, aspal modifikasi yang dikaji hanya aspal yang ditambah Retona sebanyak 10% dengan sistim penggunaan Retona dalam campuran beraspal adalah secara preblending.

Dalam perhitungan kekuatan struktural suatu campuran beraspal, parameter utama yang dipertimbangkan adalah besarnya modulus elastisitas dari campuran beraspal tersebut. Nilai modulus elastisitas ini bergantung dari beberapa faktor antara lain sifat-sifat aspal, agregat, pola pembebanan, dan faktor lainnya. Oleh karena itu, untuk menganalisis sampai sejauhmana keunggulan campuran beraspal yang menggunakan aspal modifikasi, parameter utama yang dipertimbangkan adalah modulus elastisitasnya. Sebagai pembanding, dianalisis juga dengan cara yang sama campuran beraspal yang menggunakan aspal pen 60 biasa (Ex. Pertamina).

Dalam tulisan ini, untuk menyederhanakan istilah, campuran beraspal yang menggunakan aspal modifikasi disebut AC-modifikasi sedangkan campuran beraspal yang menggunakan aspal pen 60 biasa disebut AC-Konvensional.

Pada prinsipnya, pengkajian keunggulan AC-Modifikasi dibanding AC-Konvensional, dilakukan dengan cara melihat umur rencana sistem perkerasan dalam mengakomodasi lalu lintas yang lewat. Perangkat perhitungan yang digunakan adalah program Ken Layer. Program ini merupakan program yang khusus dibuat untuk perhitungan perkerasan lentur (Huang, 1993).

II. SIFAT-SIFAT ASPAL, ASPAL MODIFIKASI, DAN AGREGAT

Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60 Ex Cilacap. Sifat-sifat dari aspal jenis ini berupa Penetrasi, Titik Lembek, Titik Nyala, Viskositas, Berat Jenis dan sifat-sifat lainnya diberikan pada Tabel 1. Dilihat dari sifat-sifatnya, aspal Pertamina yang digunakan pada pengkajian ini memenuhi persyaratan aspal pen 60.

Aspal modifikasi dibuat dari aspal Pertamina ditambah Retona dengan perbandingan antara aspal dengan Retona adalah 9:1. Pembuatan aspal modifikasi ini dilakukan secara *pre-blending*, yaitu aspal dicampur terlebih dahulu dengan Retona sebelum dicampur dengan agregat untuk mendapatkan campuran beraspal. Sifat-sifat aspal modifikasi ini diberikan pada Tabel 2. Berdasarkan sifat-sifatnya, aspal modifikasi masuk pada persyaratan aspal jenis pen 40.

Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang berasal dari PT Kumagai-Kadi Karawang. Agregat ini terdiri dari 3 fraksi yaitu fraksi kasar, fraksi halus dan Abu Batu. Sifat dari masing-

masing agregat tersebut diberikan pada Tabel 3. Selain itu, pada tabel 3 juga terdapat sifat-sifat semen yang digunakan sebagai filler.

III. SIFAT-SIFAT CAMPURAN AC- MODIFIKASI DAN AC-KONVENSIONAL

Sifat-sifat campuran AC-Modifikasi dan AC-konvensional diberikan pada Tabel 4. Sifat-sifat yang diidentifikasi sesuai dengan dengan kebutuhan spesifikasi. Selain itu juga diidentifikasi parameter kedalaman alur (*rutting depth*) dengan menggunakan alat *Wheel Tracking Machine*. Parameter kedalaman alur ini digunakan sebagai acuan untuk prediksi dari deformasi plastis yang mungkin terjadi pada lapisan beraspal dari suatu sistem perkerasan.

Pada penelitian ini juga diukur modulus elastisitas dari kedua jenis campuran beraspal ini. Pengukuran modulus elastisitas menggunakan alat UMATTA (*Universal Materials Testing Apparatus*). Nilai modulus elastisitas ini akan digunakan sebagai salah satu input dalam perhitungan umur rencana pada penggunaan program Ken Layer.

Secara sepintas terlihat bahwa dengan penggunaan aspal buton jenis Retona terjadi peningkatan ketahanan campuran terhadap alur dibandingkan dengan campuran beraspal konvensional. Selain itu juga pada campuran beraspal modifikasi ini juga terdapat peningkatan besaran modulus elastisitas dibanding campuran beraspal konvensional.

IV. PROGRAM KEN LAYER

Program ini digunakan untuk perhitungan perkerasan lentur. Solusi yang digunakan dalam perhitungan dengan program Ken Layer ini didasarkan pada sistem linier elastis multi layer dengan beban yang berupa lingkaran (Huang, 1993).

Input yang digunakan pada program ini sama seperti program linier elastis umumnya yaitu berupa modulus elastisitas masing-masing lapisan perkerasan, beban luar, Poisson's ratio, tebal perkerasan, dan geometrik beban yang berupa jarak antar roda dan jari-jari beban. Selain itu persamaan *fatigue* maupun deformasi juga harus didefinisikan terlebih dahulu sebelum program ini dijalankan.

V. PERSAMAAN FATIGUE DAN DEFORMASI

Untuk menjalankan program Ken Layer seperti diterangkan sebelumnya diperlukan persamaan *fatigue* dan deformasi.

Persamaan fatigue yang diambil adalah berasal dari The Asphalt Institute dimana sistem perkerasan dianggap hancur apabila terdapat 20% daerah retak (AI, 1989). Hubungan ini diambil sebagai berikut :

$$N_f = 0.0796 (\xi_h)^{-3.291} (E)^{-0.854}$$

Keterangan :

N_f = jumlah repetisi sampai hancur

ξ_h = regangan tarik (micron)

E = modulus resilien

Sedangkan untuk kriteria deformasi diambil hubungan dari Transport and Road Research Laboratory dengan kriteria kedalam alur maksimum 0.4 inci. Hubungan itu diberikan sebagai berikut (AI, 1989):

$$N_f = 1.66 \times 10^{-10} (\xi_v)^{-4.32}$$

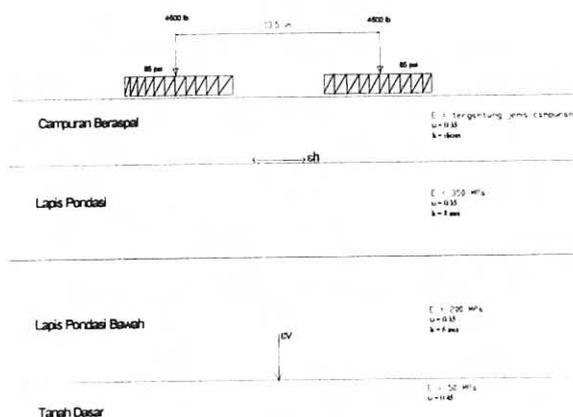
Keterangan:

N_f = jumlah repetisi sampai hancur

ξ_v = regangan tekan (micron)

VI. PEMODELAN PERKERASAN

Secara skematis pemodelan perkerasan diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Sistem Perkerasan

6.1. Lapisan Perkerasan

Perkerasan dimodelkan sebagai suatu sistem dengan 3 lapisan yaitu lapis permukaan, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah. Lapis perkerasan terdiri atas campuran beraspal dengan modulus resilien sebesar 2266 MPa untuk campuran AC-Modifikasi dan 1364 MPa untuk campuran AC-Konvensional. Nilai kedua modulus ini didapat pada pengukuran 35 °C, dengan asumsi bahwa temperatur rata-rata perkerasan di Indonesia sepanjang tahun adalah 35 °C. Untuk Poisson's ratio diambil sebesar 0.35.

6.2. Lapis Pondasi

Lapis pondasi diambil dari Agregat Kelas A dengan modulus resilien sebesar 350 MPa. Poisson's ratio untuk lapis ini diambil sebesar 0.35. Tebal lapis pondasi 20 cm atau 5 cm lebih tinggi dari persyaratan minimum (minimum 15 cm) SKBI 1987 Spesifikasi Perencanaan Tebal Perkerasar Menggunakan Analisa Komponen.

6.3. Lapis Pondasi Bawah

Lapis pondasi bawah diambil dari agregat kelas B dengan modulus sebesar 200 MPa. Poisson's ratio sebesar 0.35 dan tebal diambil 15 cm atau 5 cm lebih tinggi dari persyaratan minimum (minimum 10 cm) SKBI 1987 Spesifikasi Perencanaan Tebal Perkerasan Menggunakan Analisa Komponen.

6.4. Tanah Dasar

Modulus tanah dasar diambil sebesar 50 MPa dengan Poisson's ratio sebesar 0.45

6.5. Konfigurasi Roda dan Beban Lalu Lintas

Roda kendaraan terdiri atas roda ganda (*dual tyres*) dengan jarak antar sumbu bidang kontak sebesar 34 cm (13.5 inci). Beban roda berbentuk lingkaran dengan diameter 21 cm (8.2 inci). Beban untuk masing-masing roda sebesar 4.1 kN (4500 lbs). Beban sebesar ini dan dengan diameter bidang kontak sebesar 21 cm memberikan tegangan kontak sebesar 580 kPa (85 psi).

VII. PERHITUNGAN, HASIL, DAN ANALISIS

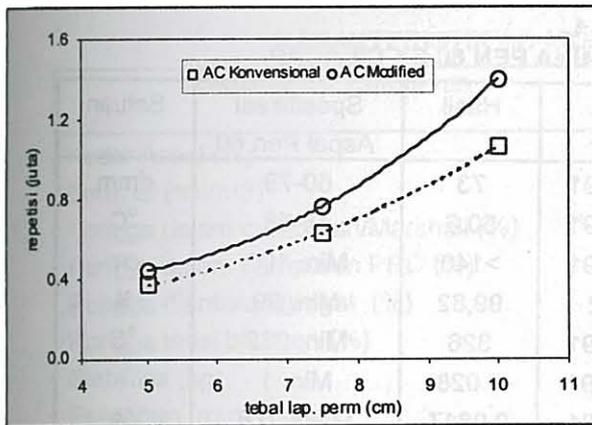
Untuk melihat perbedaan kinerja antara campuran AC konvensional dan AC modified dari sisi umur perkerasan, maka perhitungan dilakukan untuk 2 kondisi yaitu perencanaan perkerasan baru dan juga tebal lapis tambah.

7.1. Titik Kritis

Kriteria perencanaan perkerasan yang perlu diakomodasi adalah retak dan deformasi total. Retak disebabkan oleh perulangan regangan tarik pada bagian bawah lapis perkerasan beraspal. Sedangkan deformasi total disebabkan oleh perulangan regangan tekan pada bagian atas tanah dasar. Untuk itulah perlu dicari regangan / tegangan pada kedua titik kritis ini.

7.2. Perkerasan Baru

Untuk perkerasan baru, perhitungan dilakukan dengan mengambil tebal lapis permukaan masing-masing sebesar 5 cm, 7.5 cm, dan 10 cm. Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis lapis permukaan diberikan pada Tabel 5 dan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan Umur Rencana Antara AC-Modifikasi dengan AC-Konvensional Untuk Perkerasan Baru

Dari Gambar 2 dan Tabel 5 terlihat bahwa dengan menggunakan AC-Modifikasi pada ketebalan lapisan perkerasan 5 cm, 7,5 cm dan 10 cm terjadi penambahan umur perkerasan masing-masing sebesar 19%, 21% dan 32%. Hal ini dapat diterangkan bahwa dengan penggunaan campuran AC-Modifikasi yang mempunyai modulus resilien lebih besar maka penyebaran tegangan akan lebih banyak diserap oleh lapisan permukaan sendiri. Fenomena ini mengakibatkan regangan tekan yang timbul pada bagian atas tanah dasar akan lebih kecil yang selanjutnya akan memperpanjang umur perkerasan.

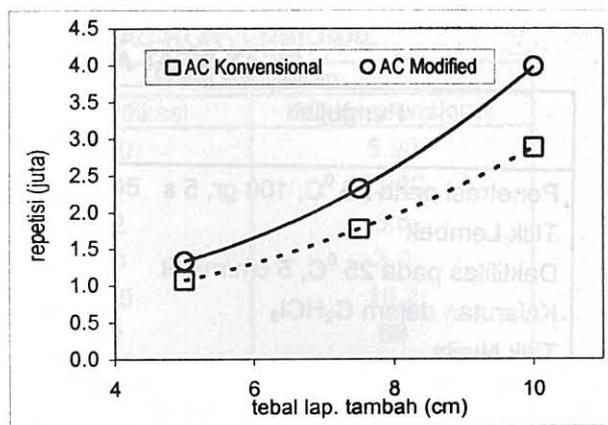
Gambar 2 dan Tabel 5 juga menunjukkan bahwa bertambah tebal lapisan permukaan maka akan bertambah besar tingginya penambahan umur perkerasan. Fenomena ini juga dapat diterangkan seperti yaitu dengan bertambahnya tebal lapis permukaan perkerasan yang lebih kaku akan menyebabkan bertambah tinggi porsi penyerapan tegangan oleh lapisan permukaan tersebut.

7.3. Lapis Tambah

Untuk perencanaan tebal lapis tambah, diambil tebal bervariasi sebesar 5 cm, 7.5 cm, dan 10 cm. Lapis permukaan perkerasan lama diambil tebal 5 cm dengan modulus resilien 1.500 MPa (217.391 psi). Komposisi lapis pondasi, pondasi bawah serta tanah dasar sama seperti perhitungan untuk perencanaan perkerasan baru.

Hasil perhitungan untuk masing-masing jenis lapis permukaan diberikan pada Tabel 6 dan Gambar 3.

Dari Gambar 3 dan Tabel 6 terlihat bahwa dengan menggunakan campuran AC-Modifikasi akan memperpanjang umur perkerasan seperti ditunjukkan dengan garis AC-Modifikasi yang berada diatas garis AC-konvensional. Besarnya penambahan umur perkerasan tersebut yaitu 24%, 31% dan 38% masing-masing untuk tebal perkerasan 5 cm, 7,5 cm dan 10 cm.



Gambar 3. Perbandingan Umur Rencana Antara AC-Modifikasi dengan AC-Konvensional untuk Lapis Tambah

Fenomena ini sama halnya dengan pada perencanaan perkerasan baru yang telah diterangkan sebelumnya.

VIII. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

- Penggunaan aspal modifikasi pada campuran AC akan menaikkan nilai modulus resilien dari campuran tersebut.
- Penggunaan campuran AC-Modifikasi untuk lapisan permukaan akan menaikkan umur rencana dari sistem perkerasan tersebut.
- Persentase dari penambahan umur rencana perkerasan akan bertambah besar dengan bertambah tebal nya lapis permukaan yang menggunakan campuran AC-Modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Huang YH, 1993. *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey.

AI, 1989. *The Asphalt Handbook*, Manual Series No. 4

Penulis :

- **Drs. Madi Hermadi, SSI.**; peneliti bidang prasarana transportasi di Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi. Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.
- **Dr. Ir. Siegfried, MSc.**; peneliti dan Kepala Seksi Program dan Pelayanan Teknik di Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi. Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.

Table 1.
SIFAT-SIFAT ASPAL PERTAMINA PEN 60 EX CILACAP

Pengujian	Standar	Hasil	Spesifikasi Aspal Pen 60	Satuan
Penetrasi pada 25 °C, 100 gr, 5 s	SNI 06-2456-91	73	60-79	dmm
Titik Lembek	SNI 06-2434-91	50.6	48-58	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-91	>140	Min. 100	cm
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	ASTM D 2042	99,82	Min. 99	%
Titik Nyala	SNI 06-2433-91	326	Min. 232	°C
Berat Jenis	SNI 06-2488-91	1.028	Min. 1	-
Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2441-91	0.0817	Maks. 0,8	%
Penetrasi (setelah TFOT)	SNI 06-2456-91	59	54	% awal
Daktilitas (setelah TFOT)	SNI 06-2456-91	>140	-	cm
Titik Lembek (setelah TFOT)	SNI 06-2434-91	51.6	-	°C
Perkiraan Suhu Pencampuran	AASHTO-27-90	158	-	°C
Perkiraan Suhu Pematatan	AASHTO-27-90	146	-	°C

Table 2.
SIFAT-SIFAT ASPAL MODIFIKASI (90% ASPAL PEN 60 + 10% RETONA)

Pengujian	Standar	Hasil	Spesifikasi Aspal Pen 40	Satuan
Penetrasi pada 25 °C, 100 gr, 5 s	SNI 06-2456-91	44	40-50	dmm
Titik Lembek	SNI 06-2434-91	55.4	48-58	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-91	>100	Min. 100	cm
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	ASTM D 2042	95,94	Min. 99	%
Titik Nyala	SNI 06-2433-91	288	Min. 232	°C
Berat Jenis	SNI 06-2488-91	1.032	Min. 1	-
Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2441-91	0.0422	Maks. 0,8	%
Penetrasi (setelah TFOT)	SNI 06-2456-91	61	58	% awal
Daktilitas (setelah TFOT)	SNI 06-2456-91	>100	-	cm
Titik Lembek (setelah TFOT)	SNI 06-2434-91	57.2	-	°C
Perkiraan Suhu Pencampuran	AASHTO-27-90	163	-	°C
Perkiraan Suhu Pematatan	AASHTO-27-90	150	-	°C

Keterangan: Persen kelarutan rendah karena Retona mengandung 40% mineral.

Tabel 3.
SIFAT-SIFAT AGREGAT EX PT KUMAGAI KADI, SEMEN DAN ABU BATU

No	Pengujian	Hasil			
		Agregat Kasar	Agregat Halus	Abu Batu	Semen
1	Berat Jenis				
	▪ Bulk	2.645	2.656	2.585	-
	▪ Jenuh	2.696	2.696	2.627	-
	▪ Apparent	2.789	2.765	2.699	2.314
2	Absorpsi, %	1.954	1.481	1.626	-
3	Abrasi, %	21.8	-	-	-
4	Setara Pasir, %	-	-	60.4	-
5	Flakiness, %	17.3	10	-	-
6	Kelekatan thdp aspal, %	95+	-	-	-

Table 4.
KARAKTERISTIK AC-MODIFIKASI DAN AC-KONVENSIONAL

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian	
	AC-Modifikasi	AC-Konvensional
Kadar Aspal (%)	5.90	5.90
Berat isi (ton/m ³)	2.295	2.280
Rongga dalam campuran/Marshall (%)	5.2	5.5
Rongga dalam campuran PRD (%)	3.0	3.0
Rongga diantara agregat (%)	17.5	18.2
Rongga terisi bitumen (%)	70	69
Stabilitas (kg)	1180	950
Pelelehan (mm)	3.5	3.3
Marshall Quosien (kg/mm)	320	310
Stabilitas rendaman, (%)	98.7	89.4
Modulus Resilien 35 ^o C, (MPa)	2266.3	1364.3
Modulus Resilien 25 ^o C, (MPa)	6241.7	5244.7

Tabel 5.
UMUR RENCANA AC-KONVENSIONAL DAN AC-MODIFIED UNTUK PERKERASAN BARU

No	Tebal Lapis Permukaan (cm)	AC Konvensional		AC Modified		Penambahan Umur (%)
		Umur Rencana (repetisi)	Mode Kerusakan	Umur Rencana (Repetisi)	Mode Kerusakan	
1	5	370.000	Deformasi	440.000	Deformasi	19
2	7.5	630.000	Deformasi	780.000	Deformasi	21
3	10	1.060.000	Deformasi	1.400.000	Deformasi	32

Tabel 6.
UMUR RENCANA AC-KONVENSIONAL DAN AC-MODIFIED UNTUK LAPIS TAMBAH

No	Tebal Lapis Permukaan (cm)	AC Konvensional		AC Modified		Penambahan Umur (%)
		Umur Rencana (repetisi)	Mode Kerusakan	Umur Rencana (Repetisi)	Mode Kerusakan	
1	5	1.070.000	Deformasi	1.330.000	Deformasi	24
2	7.5	1.770.000	Deformasi	2.320.000	Deformasi	31
3	10	2.880.000	Deformasi	3.980.000	Deformasi	38



PEMANFAATAN AGREGAT SLAG UNTUK PELAKSANAAN CAMPURAN BERASPAL PADA JALAN DENGAN LALU-LINTAS PADAT

Leksmningsih

RINGKASAN

Pemanfaatan agregat slag dari PT Krakatau Steel, Cilegon untuk konstruksi perkerasan jalan. Slag sebagai agregat alternatif terutama untuk daerah yang menghasilkan agregat lokal yang memenuhi persyaratan teknis tetapi tidak baku digunakan untuk perkerasan jalan. Agregat slag dapat digunakan dengan memodifikasi campuran agregat dan slag untuk mendapatkan campuran beraspal yang memenuhi persyaratan.

Penelitian meliputi perencanaan dan pelaksanaan percobaan lapangan campuran beraspal menggunakan agregat slag yang dilakukan pada jalan Percobaan Cileunyi yang mempunyai lalu-lintas padat (>1 juta ESA). Percobaan terdiri dari 2 campuran meliputi : Campuran 1, agregat kasar slag ditambah dengan agregat halus standar yang mempunyai kepadatan 2,525 gr/cc dan Campuran 2, agregat slag kasar dan halus ditambah dengan pasir mempunyai nilai kepadatan 2,700 gr/cc. Campuran 1 yang mempunyai nilai modulus tinggi diletakkan pada jalur lambat, dan diharapkan dapat menahan lendutan dari kendaraan yang sering berhenti (angkutan kota). Campuran 2 dengan nilai modulus yang lebih rendah diletakkan pada jalur cepat sehingga dapat dilalui kendaraan berat dengan waktu pembebanan yang kecil. Pada pengujian perkerasan dengan alat FWD sampai dengan umur 6 bulan, terbukti bahwa nilai modulus campuran 1 lebih tinggi dari campuran 2. Nilai lendutan hampir sama antara kedua campuran. Pada pengujian kekesatan campuran slag lebih kesat dari perkerasan standar pen 60. Kepadatan lapangan tercapai pada umur perkerasan 1 bulan.

SUMMARY

The study describes the use of slag from PT. Krakatau Steel, Califon for road pavement. Slag can be used as alternative aggregate mainly for regions where available aggregate are not commonly used for road pavement. To obtain specified asphalt mix, slag can be used by modifying aggregate and slag.

The research describes the plan and field trial of mixed asphalt using slag aggregate and fine standard aggregate on Cileunyi full-scale Road trial that has a traffic density of > one million ESA, the trial consisted of two kinds of mixed aggregates, i.e : the first, coarse slag aggregate added by fine standard aggregate with a density of 2,525 gr/cc and the second, coarse and fine slag aggregate added by sand with a density of 2,700 gr/cc. The first mix with high modulus was spreaded on slow lane that expected to be able to resist rutting from public transport. The second with lower modulus was spreaded on fast lane so that it could be loaded by heavy vehicles shortly. Having Falling Weight Deflection (FWD) Test for six months, the result indicates that modulus of the first mix is stiffer than the second and both mixes have the same rutting. Skid resistance of slag is higher than the existing pavement. Density can be reached in one month.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan penyediaan sumber daya alam berupa agregat untuk konstruksi perkerasan jalan terus meningkat, makin berkurangnya agregat standar yang biasa digunakan, maka untuk mengantisipasi kurangnya agregat standar adalah penggunaan agregat lokal, dapat berupa hasil samping produksi pengolahan pabrik atau agregat sub standar.

Agregat sub standar antara lain : kwarsa, silikat, kapur, sedangkan agregat lokal antara lain, slag baja dari PT Krakatau Steel.

Penggunaan agregat sub standar atau lokal tersebut harus mengacu kepada persyaratan teknis antara lain :

- Memberikan alternatif dapat digunakan untuk bahan konstruksi perkerasan jalan.
- Dampak terhadap kelanjutan produksi campuran beraspal, tersedianya deposit agregat lokal yang cukup untuk menjaga tersedianya agregat tersebut.
- Tidak menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan pada saat pengambilan bahan tersebut
(Fred Waller, 1993)

Penggunaan bahan lokal atau sub standar yang terbanyak untuk bahan konstruksi jalan adalah : kapur sebanyak 40% umumnya digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi ; slag sebanyak 20% sebagai bahan pondasi perkerasan jalan dan sebagai bahan timbunan dan sisanya sebanyak 20% adalah bahan hasil samping produksi pabrik yang digunakan sebagai bahan tambah aspal seperti fiber, polimer , selulosa, karbon , katalis dan lainnya.

Penggunaan slag untuk lapis pondasi telah dilakukan di laboratorium, yaitu dengan penambahan 20 s/d 30% tanah terhadap 70 s/d 80% slag dapat menaikkan daya dukung tanah dari nilai CBR < 10% menjadi CBR > 80%, sehingga memenuhi persyaratan untuk LPA. Didalam tulisan ini hanya akan dibahas agregat slag sebagai bahan campuran beraspal untuk perkerasan jalan.

1.2. Tujuan dan Sasaran

Tujuan penelitian untuk menentukan proses penggunaan agregat slag agar dapat digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.

Sasaran penelitian untuk pembuatan Pedoman Penggunaan Agregat Slag sebagai Bahan Konstruksi Perkerasan Jalan.

II. KAJIAN PUSTAKA

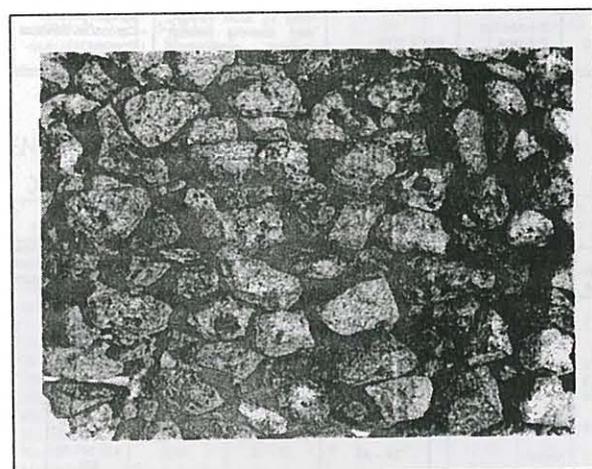
Produksi Slag

Slag besi dan baja yang dihasilkan oleh PT Krakatau Steel di Cilegon, dapat berupa agregat buatan, mempunyai permukaan yang kasar, berbentuk kubus. Slag sebagai hasil limbah dari dapur listrik umumnya terdiri dari beberapa macam unsur, yang utama adalah kapur, magnesium, besi dan mangan.

Permukaan agregat slag yang kasar disebabkan oleh terperangkapnya gas ketika slag panas mengalami proses pendinginan, lubang-lubang gas tidak saling berhubungan dan tidak bersifat porous, bila agregat terbelah karena proses pemecahan, maka kekasaran permukaan tidak hilang sampai butir terkecil sekalipun, karena agregat slag mempunyai kekerasan yang tinggi digabungkan dengan sifat tidak porous tersebut menyebabkan agregat ini sangat baik sebagai bahan perkerasan jalan, karena memberikan daya adhesi yang tinggi terhadap aspal dan kekesatan yang baik.

Produksi slag di Indonesia dihasilkan sebagai limbah dari dapur listrik yang dituang dalam keadaan panas dan cair , dipindahkan dengan slag pot carrier ke tempat penimbunan untuk proses pendinginan.

Setelah dingin dan mengeras, diangkut dan dimasukkan ke dalam processing plant dengan ban berjalan, slag dibawa ke pemecah slag, setelah dipecah slag melalui beberapa bidang magnet yang memisahkan slag yang masih mengandung metal, slag yang tidak mengandung metal disaring sehingga menjadi agregat slag menurut ukuran yang diperdagangkan (lihat gambar 1).



Gambar 1. Agregat slag produksi PT Krakatau Steel

Pada tahun 2000 kurang lebih 3,1 juta ton slag dari besi dan baja diproduksi di Australia dan New Zealand, pusat regional terbesar adalah di Port Kambla dan Whyalla untuk Blast Furnace Iron Slag (BFS) dan Steel Furnace Slag (SFS), sedangkan Electric Arc Furnace Steel Slag (EAFS) diproduksi dalam jumlah kecil di Melbourne, Sydney dan New Castle.

Dari 3,1 juta ton produksi slag: 75% digunakan secara efektif setelah diproduksi menjadi Blast Furnace Slag (BFS), Granulated Slag, Blast Oxygen Slag (BOS) dan Electric Arc Furnace Slag (EAFS) (lihat Tabel.1). Penggunaan slag yang naik secara signifikan adalah sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan. Produksi slag yang dihasilkan di Australia telah mempunyai kualitas yang seragam dan memenuhi standar ISO 9000. (Australian Slag Association, ASA 1990).

Tabel 1.
PROSES PRODUKSI SLAG DAN PENGGUNAANNYA (ASA,1990).

No	Sumber	Nama	Proses produksi	Penggunaan
1	Blast Furnace Iron Slag (BFS)	Rock Slag / air cooled slag	Dengan pendinginan udara berbentuk sebagai bongkah	- Pondasi - Bahan timbunan - Agregat campuran semen
		Granulated Slag/ slag sand	Pemecahan dengan penyemprotan air dengan tekanan tinggi	- Pondasi - Bahan timbunan - Stabilisasi - Campuran semen - Reinforced earth
		Ground Granulated Slag	Granulated slag dihaluskan seperti semen	- Bahan tambah beton semen - Stabilisasi
		Pelletised slag (Tidak diproduksi di Australia)	Pembuatan pellet dari molten slag panas, dengan pendinginan udara.	- Produksi semen - Lightweight agregat utk concrete
		Expanded slag/ lightweight slag (Tidak diproduksi di Australia)	Pendinginan slag menjadi lapis tipis diikuti pemecahan dan penyaringan	- Lightweight agregat utk masonry dan beton struktur - Agregat kasar
2	Basic Oxygen Steel Slag	BOS Slag	Slag yg telah dipecah dan disaring setelah melalui pendinginan dengan air dan udara	- agregat penutup - Campuran beraspal - Pondasi - timbunan
3	Electric Arc Furnace Steel Slag	EAFS Slag	Slag yg telah dipecah dan disaring setelah melalui pendinginan dengan air dan udara	- agregat penutup - Campuran beraspal - Pondasi - timbunan

Tabel 2.
PERSYARATAN FISIK AGREGAT SLAG UNTUK BAHAN PERKERASAN JALAN.(ASA 1990)

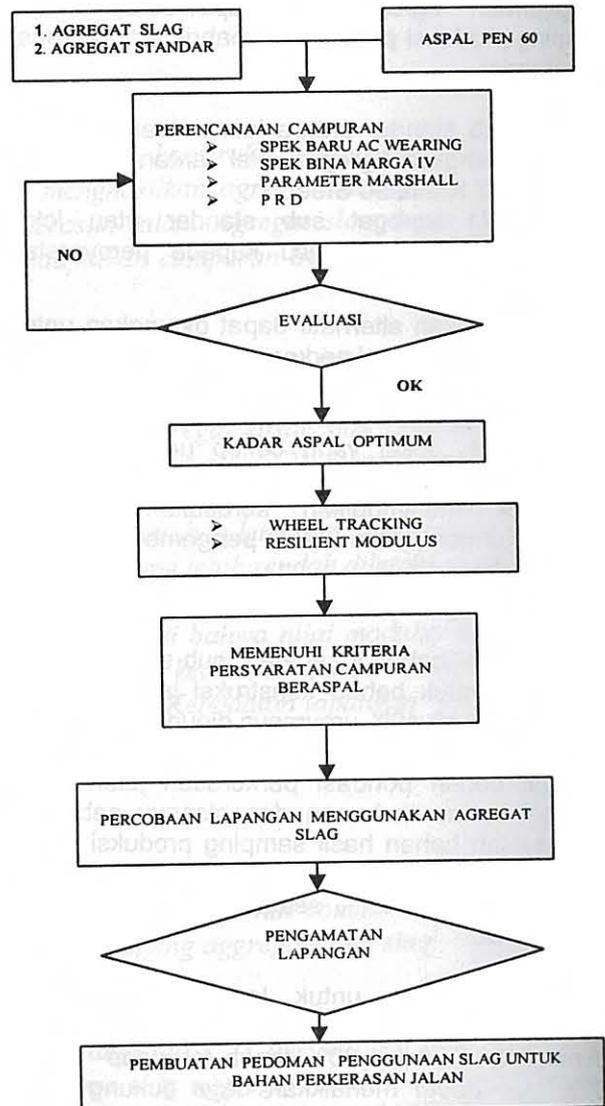
No	Pengujian	Steel slag			Metode	Syarat agregat standar
		Iron Slag BFS / Rock slag	BOS Slag	EAS Slag		
1	Berat jenis, Kg/m ³ - Kering (dry) - Jenuh (SSD)	2,450 – 2550 2,550 – 2,650	3,300-3,400 3,350-3,450	>3,300 >3,400	ASI 141.558	> 2,5 > 2,5
2	Kekuatan kering (KN)	85 – 100	>275	>250	ASI 141.23	-
3	Kekuatan basah (KN)	65 – 90	230 – 300	240 – 300		-
4	Variasi kekuatan basah dan kering (%)	10 – 20	5 – 20	5 – 15		-
5	Penyerapan (%)	4 – 7	1 – 2 (kasar) 2 – 4 (halus)	1 – 2 (kasar) 2 – 4 (halus)	ASI 141.558	< 3
6	Abrasi	37 – 43	12 – 18	>16	ASI 141.23	< 40
7	Polished stone value (PSV)	-	58 – 63	58 – 63	141.41&42	> 45
8	Pelapukan	-	<4	<4	ASI 141.24	< 12

III. METODOLOGI

3.1. Metode penelitian

Metode penelitian dimulai dari pembuatan Bagan alir percobaan, peralatan dan sampel percobaan.

3.1.1 Bagan Alir Kegiatan



Rencana kerja dimulai dari :

1. Pengujian mutu agregat slag, agregat standar dan bahan aspal.
2. Perencanaan campuran beraspal dengan spesifikasi baru AC Wearing
 - a). Saring agregat slag dan standar untuk setiap no.saringan, tentukan gradasi perencanaan campuran menggunakan spek baru AC/ WC.

b). Lakukan percobaan campuran beraspal menggunakan agregat slag dan agregat standar sesuai dengan gradasi ideal diatas garis fuller.

c). Lakukan PRD untuk menentukan kadar aspal optimum dengan VIM <5 %, lakukan pengujian stabilitas sisa pada kadar aspal optimum.

3. Perencanaan campuran beraspal dengan spesifikasi Bina Marga IV.

a). Saring agregat slag kasar tertahan saringan no.4

b). Saring agregat standar , slag dan pasir lolos saringan No.4

c).Lakukan percobaan campuran beraspal di laboratorium menggunakan agregat slag dan agregat standar sebagai blanko, untuk agregat slag dengan komposisi Kasar : Sedang : halus : 20 : 20 : 60 dan untuk agregat standar 20:18 : 62

d). Untuk campuran agregat slag dan agregat standar , Lakukan perencanaan **Campuran 1** yang terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # no.4) : agregat halus standar (lolos # no.4) dengan perbandingan 40 : 60

e).Untuk campuran agregat slag dan pasir , Lakukan perencanaan **Campuran 2** yang terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # no.4) : agregat halus slag (lolos # no.4) : pasir lolos # no.4 dengan perbandingan 43 : 22 : 35

f). Parameter yang diuji : Marshall, Kadar aspal optimum, Stabilitas sisa , penurunan deformasi dan stabilitas sisa.

3.2. Peralatan dan Sampel Pengujian

3.2.1. Peralatan yang digunakan

- Peralatan pengujian aspal
- Peralatan pengujian agregat
- Peralatan Marshall
- Peralatan PRD
- Peralatan Wheel Tracking
- Peralatan Ummata
- Peralatan pelaksanaan lapangan
- Peralatan pengamatan lapangan

3.2.2 Sampel pengujian

- Aspal keras Pen 60/70
- Agregat standar
- Agregat Slag
- Pasir Cimalaka

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pengujian mutu aspal dan agregat

Tabel 3 .
HASIL PENGUJIAN MUTU ASPAL PEN 60

N o	Pengujian	Metode SNI	Satuan	Pen 60	Syarat
1	Penetrasi	06-2456-1991	0,1mm	62	60 - 79
2	Titik Lembek	06-2434-1991	°C	49	48 - 58
3	Daktilitas	06-2432-1991	cm	>140	min 100
4	Titik Nyala	06-2433-1991	°C	327	min 200
5	Kehilangan Berat (RTFOT)	06-2440-1991	% berat	0,0839	maks 1
6	Penselelah RTFOT	06-2456-1991	% semula	86(53,4)	min 75
7	Titik lembek stlh RTFOT	06-2434-1991	C	51,8	
8	Daktilitas setelah RTFOT	06-2432-1991	cm	>140	min 54
9	Berat Jenis	06-2441-1991	-	1,0315	min 1
10	Kelaurutan	06-2438-1991	%	99+	min 99
11	Temperatur		°C	155	-
	- Pencampuran	06-6441-2000	°C	145	-
	- Pematatan		°C		-

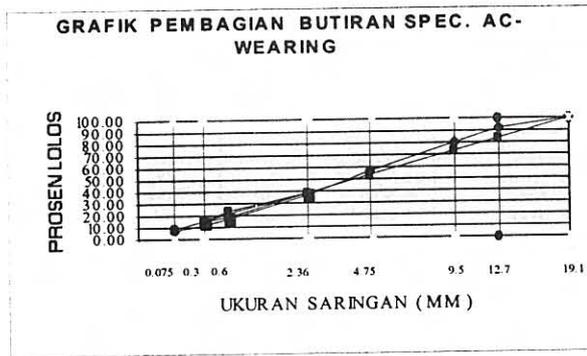
Tabel 4.
PENGUJIAN MUTU AGREGAT UNTUK CAMPURAN SPEK AC WEARING COURSE

N o	Pengujian	Agregat standar			Agregat Slag			Syarat
		Kasar	Sedang	Halus	Lolos #3/4" tahan # 3/8"	Lolos #3/8" tahan # No.4	Lolos # No.4	
1	Saringan, % lolos							
	1"	100			100			
	¾"	77,09			50	100		
	½"	26,59	100					
	3/8"	2,83	54,54	100			100	
	No.4	2,01	9,29	81,62			76,40	
	No.30	1,62	4,84	40,12			38,12	
	No.50	1,54	4,01	28,94			30,10	
	No.100	1,44	3,1	19,47			16,43	
	No.200	1,39	2,6	14,95			10,36	
2	Berat jenis							
	-Bulk	2,659	2,642	2,648	3,481	3,481	3,359	> 2,5
	-SSD	2,697	2,687	2,700	3,534	3,534	3,409	> 2,5
	-Apparent	2,763	2,765	2,792	3,678	3,678	3,533	> 2,5
	Penyerapan	1,414	1,685	1,937	1,521	1,521	1,460	< 3
3	Keausan	20	-	-	16,31	-	-	< 40
4	Kelekatatan	95+	95+	-	95+	95+	-	95+
5	Impact	19	-	-	13,91	-	-	< 30
6	Kepipihan	19,24	-	-	-	-	-	< 25
7	Setara pasir	-	-	54,5	8,72	-	55,18	> 50
8	Pelapukan	0,55	0,24	0,15	1,12	-	-	< 12
9	Polishing Stone Value (PSV)							
	-sebelum	52,5			55			> 45
	-sesudah	50			53			

Tabel 5.
PENGUJIAN MUTU AGREGAT UNTUK CAMPURAN SPEK BINA MARGA IV.

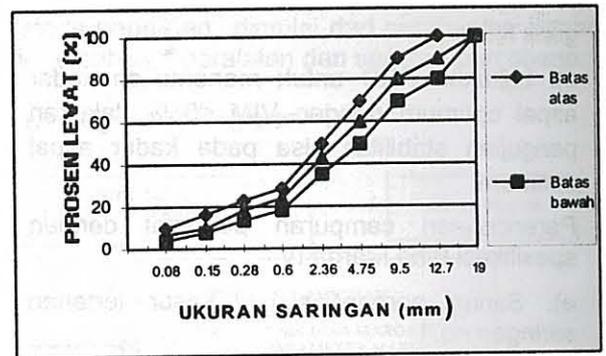
N o	Pengujian	Standar ex Pwk			Slag		Pasir ex Cimalaka Lolos # no.4
		Kasar	Sedang	Halus	Kasar Tertahan # no.4	Halus Lolos # no.4	
1	Analisa saringan, % lolos						
	1"	100			100		
	¾"	98,7			84,05		
	½"	39,6	100		33,82		
	3/8"	17,7	92,4	100	0,29	100	100
	No.4	5,1	36	99,8	-	58,86	82,28
	No.8	4,3	14,1	71,9	-	20,98	46,36
	No.30	2,6	8	36,9	-	12,02	31,31
	No.50	2,3	7,3	31,4	-	3,36	22
	No.100	2,2	5,8	22	-	2,97	12,41
	No.200	1,6	4,4	14,9	-		
2	Berat jenis						
	-Bulk	2,593	2,615	2,540	3,481	3,359	2,690
	-SSD	2,604	2,674	2,698	3,534	3,409	2,725
	-Apparent	2,754	2,779	2,824	3,678	3,533	2,787
3	Penyerapan	2,320	2,376	2,130	1,521	1,460	1,294
4	Setara Pasir	-	-	52,3	-	55,2	69,49

4.2. Perencanaan campuran beraspal dengan Spek Baru AC/WC



Gambar 3. Grafik pembagian butir spek baru AC Wearing

4.3. Perencanaan campuran beraspal dengan gradasi Spek Bina Marga IV



Gambar 4. Grafik pembagian butir spek Bina Marga IV

Tabel 6.
KADAR ASPAL OPTIMUM SPEK AC WEARING COURSE

No	Pengujian	Hasil			Syarat
		Aggregat standar	Aggregat slag	Aggregat kasar slag + agregat halus standar	
1	K.Aspal Optimum,%	6,05	6,0	5,8	-
2	Kepadatan,gr/cc	2,345	3,035	2,732	-
3	VMA,%	16,82	17,39	17,17	>15 %
4	VIM,%	3,7	3,7	3,9	>2,5 %
5	VFB,%	78,02	78,94	81,60	> 65%
6	Stabilitas, Kg	1159,7	1333,2	1360,9	> 800Kg
7	Flow, mm	3,6	3,9	3,2	3-5 mm
8	Marshall Quotient,kg/mm	325,3	338,5	371,1	>300
9	Stabilitas sisa,% semula	84	84,3	74,6	Kg/mm >75%

Tabel 7.
HASIL PENGUJIAN WHEEL TRACKING SPEK AC WEARING COURSE

Waktu	Lintasan	Jenis campuran	
		Aggr standar	Aggr slag
0	0	0	0
1	21	1,01	1,31
5	105	1,86	2,16
10	210	2,38	2,59
15	315	2,76	2,80
30	630	3,58	3,47
45	945	4,19	3,91
60	1260	4,67	4,34
DO		2,75	2,92
RD		0,032	0,029
DS		1312,5	1465,1

Tabel 8.
PENGUJIAN RESILIENT MODULUS PADA KADAR ASPAL OPTIMUM SPEK AC/WC

Pengujian	K.a optimum	Resilient modulus (Mpa) pada temperatur		
		25°C	35°C	45°C
		Standar	6,05	2666
Slag	6,0	2575,5	1075,3	600,5

Tabel 9.
KADAR ASPAL OPTIMUM SPEK BM IV

No	Pengujian	Hasil				Syarat
		Aggregat standar	Aggregat slag	Campuran 1 (agg kasar slag + agg halus standar)	Campuran 2 (agg kasar slag + agg halus slag + pasir)	
1	K.Aspal Optimum,%	6,5	6,8	6,4	7,0	-
2	Kepadatan,gr/cc	2,340	2,865	2,525	2,700	-
3	VMA,%	17,45	20,89	18,59	20,63	>16 %
4	VIM,%	3,80	4,63	3,38	5,0	3 - 5 %
5	VFB,%	78,23	77,98	81,83	75,22	> 65%
6	Stabilitas, Kg	1383	1527,5	1027,6	1138,5	> 800Kg
7	Flow, mm	3,37	3,73	3,50	4,07	> 2 mm
8	Marshall Quotient,kg/mm	411,1	409,5	293,6	254,9	200-500 Kg/mm
9	Stabilitas sisa, % semula	82,3	86,5	79,5	82,1	>75%

Tabel 10.
HASIL PENGUJIAN WHEEL TRACKING SPEK BM IV

Waktu	Lintasan	Jenis campuran			
		Aggr standar	Aggr slag	Campuran 1	Campuran 2
0	0	0	0	0	0
1	21	0,82	0,72	1,09	0,99
5	105	1,60	1,18	1,63	1,75
10	210	2,16	1,46	1,93	2,29
15	315	2,58	1,68	2,14	2,70
30	630	3,60	2,17	2,56	3,64
45	945	4,50	2,55	2,87	4,41
60	1260	5,41	2,91	3,12	5,13
DO		1,97	1,45	2,12	2,25
RD		0,0607	0,0243	0,0167	0,0480
DS		692,3	1802,1	2520	875

Tabel 11.
HASIL PENGUJIAN RESILIENT MODULUS PADA KADAR ASPAL OPTIMUM SPEK BM IV

Pengujian	K.a optimum	Resilient modulus (Mpa) pada temperatur			
		25°C	35°C	45°C	60°C
		Standar	6,5	3915	1541
Slag	6,4	3249	1458	891	258
Campuran 1	6,4	4203	1953	1070	385
Campuran 2	7,0	2780	794	524	230

4.4. Pembahasan

1. Perencanaan laboratorium campuran beraspal dengan spesifikasi AC/WC

a). Stabilisasi Marshall pada kadar aspal optimum agregat slag + standar mempunyai stabilitas lebih tinggi 17,3 % dan agregat slag mempunyai stabilitas lebih tinggi 15 % terhadap agregat standar.

b). Pengujian Wheel Tracking memperlihatkan campuran beraspal dengan agregat slag dan agregat standar. Penurunan deformasi campuran beraspal dengan agregat slag dan agregat standar hampir sama, kenaikan stabilitas dinamis agregat slag lebih tinggi 12 % terhadap agregat standar.

c). Pengujian Modulus dengan alat Ummata pada kadar aspal optimum setelah melalui PRD, campuran beraspal menggunakan agregat slag dan agregat standar mempunyai nilai yang sama

2. Hasil perencanaan campuran beraspal dengan Spek Bina Marga IV.

a). Stabilitas Marshall pada kadar aspal optimum, agregat slag mempunyai stabilitas lebih tinggi 10,4% terhadap agregat standar, untuk campuran 1 penurunan stabilitas sebesar 25,7% dan campuran 2 sebesar 17,7% terhadap standar.

b). Pengujian Wheel Tracking memperlihatkan campuran slag mempunyai penurunan deformasi sebesar 53,8% terhadap standar. Campuran 1 penurunan sebesar 57,7%. Campuran 2 penurunan deformasi sama dengan standar. Campuran beraspal dengan slag menunjukkan kenaikan stabilitas dinamis sebesar 2,6 kali, Campuran 1 sebesar 3,6 kali dan Campuran 2 sebesar 1,3 kali terhadap standar.

c). Pengujian resilient modulus pada kadar aspal optimum, menunjukkan resilient modulus (M_r), campuran 1 mempunyai modulus lebih tinggi dari agregat standar dan agregat slag. Campuran 2 mempunyai modulus terendah dari keseluruhan campuran. Campuran dengan agregat slag pada temperatur tinggi menunjukkan angka yang lebih kecil dari standar.

V. PELAKSANAAN LAPANGAN

5.1. Perhitungan lalu - lintas pada jalan Percobaan Cileunyi

Tabel 12.
EKIVALEN BEBAN SUMBU (ESA)
Jalan Percobaan Cileunyi

JENIS KENDARAAN	FAKTOR DISTRIBUSI	L.H.R 2000	E (FAKTOR)	KUMULATIF ESA		
				ESA-2000	ESA-2007	ESA-2012
M.P T/B Kecil & sedang	0.800	25.362	0.004	48.513	197.674	355.521
	0.600	669	0.061	19.615	79.923	143.743
Truk besar (T 1.2H)	0.700	1.598	1.065	949.525	3.869.009	6.958.499
	0.700	2.290	0.159	203.526	829.305	1.491.522
Bus besar						
Gandengan	0.700	20	1.320	14.390	58.634	105.455
				1.235.569	5.034.544	9.054.738

Keterangan :

- Perkembangan lalu-lintas diestimasi semua kelas kendaraan sebesar 6% untuk 5 tahun pertama dan 3% untuk 5 tahun kedua .
- Kumulatif ESA = LHR x Faktor distribusi x Damaging Faktor (E) x $365 \times (((1 + r)^n) - 1/r)$ (Perencanaan tebal perkerasan lentur, 1987).

5.2. Percobaan Lapangan

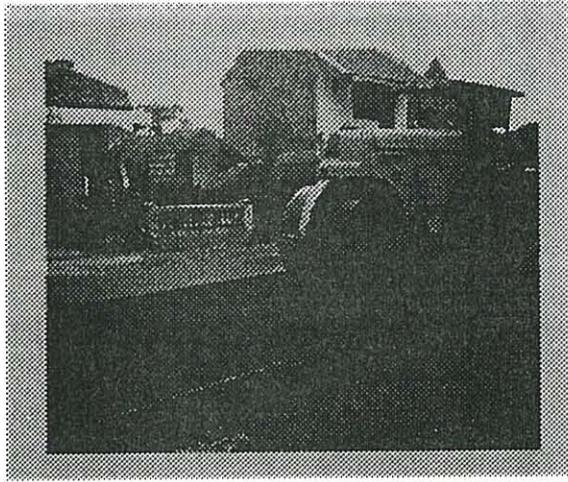
Percobaan lapangan dilaksanakan pada jalan percobaan Cileunyi dengan dua jalur, jalur cepat dan jalur lambat, masing-masing sepanjang 20 meter. Percobaan dilaksanakan pada tanggal 28 Oktober 2002.

Pelaksanaan lapangan terdiri dari dua macam campuran :

- 1). Campuran 1, terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # No.4) dengan agregat halus standar (lolos # No.4) dengan perbandingan 40 : 60, kadar aspal optimum 6,4%
- 2). Campuran 2, terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # No.4), agregat halus slag (lolos # No.4) dan pasir Cimalaka (lolos #No.4) dengan perbandingan 43 : 22: 35, kadar aspal optimum 7%.
- 3). Sebagai pembanding digunakan AC pen 60 berumur ± 3 bulan.



Gambar 5. Skema pelaksanaan lapangan pada jalan percobaan Cileunyi



Gambar 6.
Pelaksanaan percobaan lapangan

5.3. Pengamatan setelah pelaksanaan

5.3.1. Pengamatan setelah pelaksanaan

Tabel 13
HASIL PENGUJIAN CAMPURAN SETELAH
PELAKSANAAN

No	Jenis Campuran	Kepadatan (gr/cc)			Kadar aspal (%)		Gradasi (% lolos)		
		Lab	1 hr	1 bln	awal	setelah	gradasi	Awal	setelah
1	Campuran 1 Jalur lambat	JRD 2,330 (92% lab)	JRD 2,508 (100% lab)		6,5	6,7	100	100	100
		JRL 2,545 (100% Lab)	JRL 2,551 (100% lab)				5/4 87,4 80 No.4 42,5 No.30 18 No.100 7	87,4 71,4 48,1 33,8 17,4 13,0 8,0 4,9	87,4 71,4 48,1 33,8 17,4 13,0 8,0 4,9
2	Campuran 2 Jalur cepat.	JRD 2,565 (95% lab)	JRD 2,688 (100% lab)		7,0	6,23	100	100	100
		JRL 2,571 (95% lab)	JRL 2,642 (100% lab)				5/4 93,1 71,5 No.4 57,1 No.8 41,7 No.30 20,8 No.50 13,0 No.100 8,4 No.200 5,0	92,7 78,1 53,7 38,7 19,8 14,5 8,0 5,0	92,7 78,1 53,7 38,7 19,8 14,5 8,0 5,0

Tabel 14.
HASIL PENGAMATAN KONDISI SAMPAI UMUR 6 BULAN

No	Jenis campuran	Titik	Kondisi Alur (mm)				Kecelikan (BPN)				
			1 Bulan		6 Bulan		1 Bulan		6 Bulan		
			JRL	JRD	JRL	JRD	Standar	Slag	Standar	Slag	
1	Campuran 1 Jalur lambat	0.001	2	3	1	1			53,6		56
		0.004	3	2	1	1					
		0.007	2	3	1	3					
		0.010	2	3	1	2					
		0.013	3	2	2	1					
		0.016	2	2	2	1					
2	Campuran 2 Jalur cepat.	0.001	2	2	3	2			52,3		57
		0.004	3	2	3	2					
		0.007	2	2	1	1					
		0.010	1	3	1	1					
		0.013	2	2	1	2					
		0.016	3	2	1	1					
3	Standar AC 60 Jalur lambat	0.001	2	3	4	3			43,7		41
		0.004	1	1	3	2					
		0.007	1	1	3	2					
		0.010	1	1	2	2					
		0.013	3	1	2	2					
4	Standar AC 60 Jalur cepat	0.001	3	2	4	3			45,4		42
		0.004	1	1	3	2					
		0.007	1	1	3	2					
		0.010	1	1	3	2					
		0.013	2	2	4	3					

JRD = jejak roda dalam, JRL = jejak roda luar

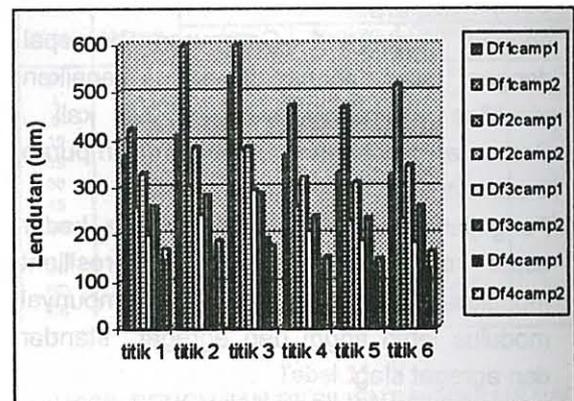
Tabel 15.
HASIL PENGAMATAN PERKERASAN
UMUR 1 BULAN DENGAN ALAT FWD

No	Jenis campuran	Titik	Lendutan (um)				Modulus (Mpa)		
			Df1	Df2	Df3	Df4	E1	E2	E3
1	Campuran 1 Jalur lambat	0.001	346	238	189	133	2490	614	359
		0.004	411	310	242	171	3365	400	233
		0.007	530	386	299	198	2379	286	167
		0.010	416	308	244	175	3216	395	231
		0.013	362	280	224	159	5411	366	214
		0.016	348	251	202	145	3695	471	275
2	Jalur cepat.	0.001	416	324	251	170	3545	344	201
		0.004	558	408	308	206	1888	256	150
		0.007	555	399	309	203	2067	238	139
		0.010	486	356	274	176	2533	271	158
		0.013	424	305	229	151	2223	359	210
		0.016	447	331	258	169	3109	267	156

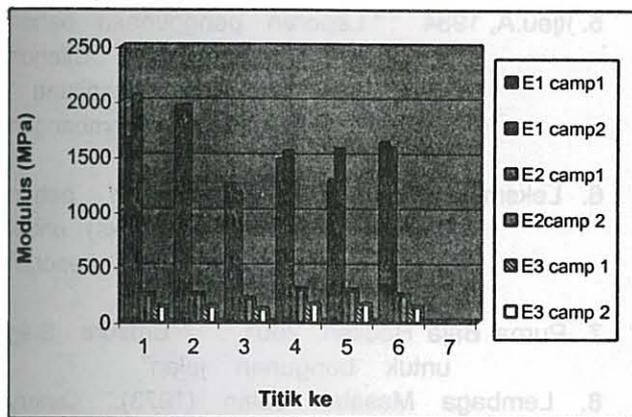
Tabel 16.
HASIL PENGAMATAN PERKERASAN
UMUR 6 BULAN DENGAN ALAT FWD

No	Jenis campuran	Titik	Lendutan (um)				Modulus (Mpa)		
			Df1	Df2	Df3	Df4	E1	E2	E3
1	Campuran 1 Jalur lambat	0.001	366	258	200	144	1650	245	142
		0.004	409	301	242	175	1920	250	142
		0.007	532	381	293	192	1240	218	121
		0.010	365	259	207	148	1469	300	163
		0.013	330	232	189	137	1280	291	158
		0.016	327	233	185	126	1621	245	142
2	Campuran 2 Jalur cepat.	0.001	425	331	261	170	2045	246	140
		0.004	597	386	284	187	1960	249	141
		0.007	596	384	287	177	1166	209	119
		0.010	472	320	240	153	1544	291	165
		0.013	468	311	234	150	1562	283	161
		0.016	513	345	260	163	1575	236	134

5.3.2. Pembahasan hasil pengamatan umur 6 bulan.



Gambar 7. Hasil pengamatan lendutan umur 6 Bulan



Gambar 8. Hasil pengamatan modulus umur 6 bulan

Pada pengamatan umur 6 bulan, sifat perkerasan masih mengikuti pengamatan perkerasan umur 1 bulan yaitu: lendutan campuran 2 (slag + pasir) lebih tinggi dari campuran 1 (slag+ standar), sehingga modulus campuran 1 akan lebih tinggi dari modulus campuran 2. Lendutan masih memenuhi persyaratan < 2000 um, dan modulus masih memenuhi persyaratan > 200 Mpa, tidak terjadi retak, kekesatan > 55 BPN

VI. KESIMPULAN

6.1. Hasil perencanaan campuran beraspal menggunakan agregat slag di laboratorium menggunakan spesifikasi baru AC Wearing. Pada kadar aspal optimum, stabilitas Marshall campuran beraspal menggunakan slag lebih tinggi 16% terhadap standar, deformasi permanen antara agregat slag dan standar hampir sama, tetapi stabilitas dinamis campuran slag lebih tinggi 12% terhadap campuran standar.

Kekakuan (modulus resilient) antara agregat slag dan agregat standar hampir sama.

6.2. Hasil perencanaan campuran beraspal di laboratorium menggunakan spesifikasi BM IV terdiri dari 4 jenis campuran:

- Campuran pembanding agregat slag, terdiri dari agregat slag kasar, sedang dan halus dengan perbandingan 20 : 20 : 60.
- Campuran pembanding agregat standar, terdiri dari agregat standar kasar, sedang dan halus dengan perbandingan 20 : 18 : 62
- Campuran 1, terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # no.4), agregat halus

standar (lolos # no.4) dengan perbandingan 40 : 60

- Campuran 2, terdiri dari agregat kasar slag (tertahan # no.4), agregat halus slag (lolos # no.4) dan pasir Cimalaka (lolos # no.4) dengan perbandingan 43:22:35.

Hasil pengujian Marshall pada kadar aspal optimum, campuran 2 mempunyai stabilitas lebih tinggi 11% dari campuran 1. Pada pengujian deformasi dengan alat Wheel Tracking campuran 1 mempunyai penurunan deformasi sebesar 42,3 % terhadap standar. Pengujian modulus Campuran 1 lebih tinggi 1,5 kali dari Campuran 2.

6.3. Untuk melihat kinerja campuran di lapangan, percobaan lapangan dilaksanakan pada jalan Percobaan Cileunyi, Bandung, sepanjang 20 meter pada jalur cepat dan jalur lambat dengan lebar perkerasan 7 meter, menggunakan spesifikasi Bina Marga IV sesuai point 6.2. Percobaan di lapangan dilakukan untuk Campuran 1 pada jalur lambat dan Campuran 2 pada jalur cepat yang akan diperbandingkan (lihat gambar 5.). Pencampuran dilakukan di AMP Kota Bandung, temperatur pemanasan campuran 160°C , temperatur pemadatan mulai dari 130°C dan berakhir pada 80°C , menggunakan pemadat roda besi dan roda karet.

Hasil pengujian setelah pelaksanaan pada umur 1 hari dapat dilihat pada Tabel.12.

6.4. Hasil pengamatan sampai umur 6 bulan, didapat hasil sebagai berikut : Pengujian kondisi perkerasan terdiri dari : Kondisi permukaan normal. Kelicinan, perkerasan slag lebih kesat (> 50 BPN), Lendutan masih dalam kriteria rata (< 2 mm), modulus campuran 1 lebih tinggi dari campuran 2 (> 200 Mpa), tidak terjadi keretakan.

6.5. Dari hasil pengkajian yang diperoleh di laboratorium maupun di lapangan, agregat slag dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, untuk lalu-lintas berat > 1 juta ESA (lihat tabel 12).

Kurangnya deposit agregat halus slag (lolos # no.4), sehingga untuk percobaan campuran pada pelaksanaan perlu dilakukan pencampuran dengan agregat lainnya (mixed aggregate)

6.6. Melihat hasil percobaan laboratorium dan lapangan campuran beraspal menggunakan agregat slag, maka dipandang perlu untuk dibuat suatu NSPM berupa Pedoman Penggunaan Agregat Slag untuk Bahan Perkerasan Jalan.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.S.A 2002 : " A guide to the use of Iron and Steel Slag in Roads" Australian Slag Association, Wollongong,Australia.
2. Fred Waller, 1993 : "Use of Waste Materials in Hot Mix Asphalt ", ASTM STP 1193
3. Hendro Yassin 1985:" Laboratory performance of asphaltic concrete surface course containing various combinations of Steel Slag and Conventional aggregate"
Thesis Program Pasca Sarjana ITB.
4. Kurniadji. Anwar Yamin (2002):" Pemanfaatan bahan lokal sub standar untuk konstruksi perkerasan jalan" KRTJ Dempasar , 2002

5. Itjeu.A, 1984 : "Laporan penggunaan bahan buangan pabrik baja Cilegon (Slag), Cikande – Rangkasbitung " Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan .
6. Leksmningsih 2001:" Penggunaan bahan buangan (waste materials) untuk konstruksi prasarana jalan, Laporan Penelitian, Pustrans.
7. Purna Baja Heckett, 2001 : " Brosure Slag untuk bangunan jalan"
8. Lembaga Masalah Jalan (1973):" Quarry manual" Dept PU,Dit Jen Bina Marga , Bandung

Penulis :

Dra. Leksmningsih, Ahli Peneliti Muda pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Kimpraswil, Departemen Kimpraswil.

