

KAJIAN KEKESATAN PERMUKAAN PERKERASAN JALAN BETON ASPAL, BETON SEMEN, DAN BETON KARET (*STUDY OF SKID RESISTANCE ON ASPHALT CONCRETE, CEMENT CONCRETE, AND RUBBERIZED CONCRETE ROAD PAVEMENT SURFACES*)

M. Sjahdanulirwan¹⁾, A. Tatang Dachlan²⁾

^{1), 2)} Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

^{1), 2)} Jln. A.H. Nasution No. 264 Bandung

^{1), 2)} e-mail: msjahdanulirwan@yahoo.co.id; atatangd@yahoo.com

Diterima: 23 Oktober 2013; direvisi: 7 November 2013; disetujui: 02 Desember 2013

ABSTRAK

Salah satu parameter penting untuk memenuhi aspek fungsional terkait dengan keselamatan dan kenyamanan berkendara di jalan raya adalah ketahanan gesek antara permukaan ban kendaraan dan permukaan perkerasan jalan. Laju kecepatan suatu kendaraan yang relatif cepat di jalan, pada saat-saat tertentu dapat melaju lebih cepat sesuai dengan perilaku manusia. Karakteristik permukaan perkerasan jalan yang selama ini ditetapkan perlu dijaga. Bila permukaan perkerasan jalan cenderung menjadi licin, perlu segera ditangani agar tidak mengakibatkan kecelakaan yang akan menimbulkan kerugian dan mengancam keselamatan jiwa. Pemenuhan pada aspek struktural perkerasan atau kekuatan saja terhadap beban lalu-lintas pada umumnya tidak menjamin bahwa karakteristik permukaan jalan akan sesuai dengan tuntutan keselamatan berkendara. Dalam tulisan ini diuraikan kecenderungan perubahan sifat-sifat permukaan jalan dari waktu ke waktu, yang memberikan indikator keamanan berkendara. Kekesatan permukaan perkerasan beton aspal baru dan beton semen baru diuji menggunakan alat British Pendulum Tester (BPT). Pencapaian batas kekesatan yang dianggap kritis dapat diperkirakan dengan mengekstrapolasi seri data kekesatan terhadap akumulasi beban lalu-lintas. Penurunan kekesatan pada permukaan perkerasan beton semen (tanpa beton karet) 1,6 kali relatif lebih cepat daripada perkerasan beton aspal. Penurunan kekesatan permukaan beton semen yang menggunakan ukuran butir maksimum 19 mm ($\frac{3}{4}$ inci) 1,1 kali lebih cepat daripada dengan ukuran butir maksimum 37 mm ($1\frac{1}{2}$ inci). Penurunan kekesatan permukaan beton semen 1,7 kali lebih cepat daripada perkerasan beton karet. Peranan parutan karet ban bekas memberikan sumbangan yang cukup baik dalam meningkatkan kekesatan permukaan perkerasan jalan beton semen.

Kata kunci: kekesatan, permukaan perkerasan, beton aspal, beton semen, keselamatan jalan

ABSTRACT

One of the important parameters to meet the functional aspects related to safety and riding comfort on highways is the friction resistance between the surface of the vehicle tires and the road pavement. The speed of a vehicle that is relatively fast on the road, at certain condition can go faster according to the human behavior. The pavement surface characteristics that have been established should be maintained. If the pavement surface tends to be slippery, it needs to be immediately handled in order not to cause accidents that would cause the loss and life-threatening. The fulfillment of the structural aspects of pavement or strength only to the traffic load is generally no guarantee that the characteristics of the road surface would be appropriate with the demands of driving safety. Trends described in this paper are the changes of the properties of road surfaces from time to time, which provide driving safety indicator. Surface roughness of new asphalt concrete pavement and new cement concrete were tested using a British Pendulum Tester (BPT). Skid limit achievement is considered

critical can be estimated by extrapolating the data series skid versus accumulative traffic load. Skid of cement concrete pavement surface (without rubber concrete) decreased 1.6 times faster than asphalt concrete pavement. Skid of cement concrete surface using a maximum granular size of 19 mm (¾ inch), decreased 1.1 times faster than the maximum granular size of 37 mm (1 ½ inches). Skid of cement concrete surface decreased 1.7 times faster than rubber concrete pavement. The role of grated rubber tires contributes quite well in improving the surface skid of cement concrete pavement.

Keywords: *skid resistance, pavement surface, asphaltic concrete, cement concrete, road safety*

PENDAHULUAN

Untuk memenuhi fungsi pelayanan keselamatan dan kenyamanan bagi pengguna jalan raya, kondisi permukaan perkerasan seluruh ruas jalan raya harus memenuhi persyaratan kekesatan permukaan jalan. Kerusakan lainnya dari perkerasan jalan seperti ambles, tambalan yang tidak sempurna, pelepasan butir dan alur sepanjang jalur jejak roda. Secara keseluruhan kondisi tersebut dapat mengganggu kenyamanan dan kelancaran lalu-lintas. Pelayanan kenyamanan berhubungan dengan tingkat keamanan atau keselamatan jalan. Kecuali kondisi kekesatan permukaan jalan, seluruh jenis kerusakan yang terjadi pada permukaan jalan secara kuantitatif dan secara visual dapat terlihat jelas, walaupun tanpa menggunakan alat pengukur kerusakan. Khusus untuk mengetahui kondisi kekesatan atau kelicinan permukaan jalan, relatif sulit dilihat secara visual.

Kondisi kekesatan permukaan jalan dalam keadaan basah, adalah menggambarkan ketahanan-licin (*skid-resistance*) pada kondisi buruk yang memberikan indikator keselamatan dan kenyamanan bagi pengguna kendaraan. Permukaan jalan yang rata dan kuat belum menjamin mempunyai kekesatan permukaan jalan yang aman pada kondisi basah atau hujan. Dari beberapa literatur disampaikan bahwa bahaya kecelakaan akibat permukaan jalan yang licin pada keadaan basah sering terjadi bila permukaan jalan mempunyai nilai kelicinan yang kurang dari batas-batas tertentu. Alat untuk menguji kekesatan antara lain *Mu Meter* dan *British Pendulum Tester* (BPT), masing-masing sesuai dengan standar uji Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4427 (BSN 1997)

dan SNI 03-6748 (BSN 2002). Permukaan perkerasan beraspal yang baru dihampar akan memberikan permukaan yang berbeda kekesatannya setelah beberapa bulan atau tahun.

Alat *Mu Meter* relatif besar dan mahal serta hanya dimiliki oleh instansi tertentu seperti Kementerian Pekerjaan Umum dan Kementerian Perhubungan. Alat *BPT* relatif ringan dan berbentuk *portable* yang dapat disimpan dalam kotak berukuran 50 cm x 60 cm x 20 cm sehingga praktis dan mudah dibawa dan digunakan. Tulisan ini memberikan gambaran tentang penurunan nilai kekesatan permukaan perkerasan jalan pada beberapa jenis jalan beton semen termasuk beton karet, dan jalan beton aspal termasuk asbuton (aspal batu Buton) terhadap persyaratan keselamatan bagi pengguna jalan. Dalam tulisan ini hanya disajikan data kekesatan permukaan jalan yang diukur menggunakan alat BPT.

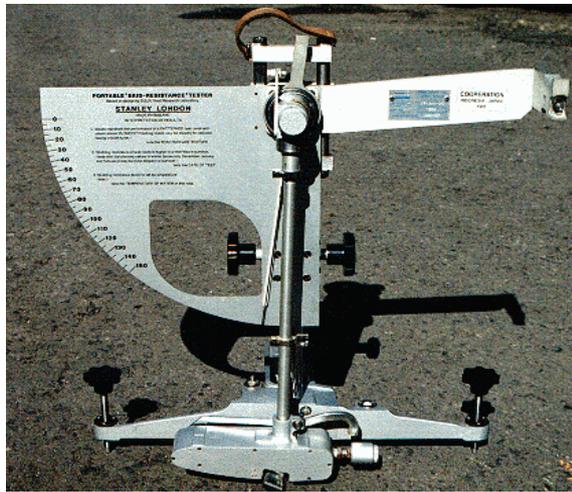
KAJIAN PUSTAKA

Karakteristik permukaan perkerasan jalan

Karakteristik permukaan perkerasan jalan meliputi kekesatan permukaan, kondisi permukaan, ketidakrataan, dan kedalaman tekstur. Salah satu karakteristik yang penting antara lain adalah kekesatan permukaan jalan.

Kekesatan didefinisikan sebagai tahanan gesek antara dua jenis benda, yang salah satu atau keduanya bergerak. Kekesatan atau ketahanan gesek (*skid resistance*) adalah suatu koefisien friksi antara permukaan jalan yang dibasahi air dan permukaan ban kendaraan. Alat yang digunakan untuk mengukur kekesatan permukaan jalan yang cukup praktis adalah

British Pendulum Skid Resistance Tester (BPT).
Lihat Gambar 1.



Gambar 1. Alat uji *British Pendulum Tester (BPT)*

BPT merupakan alat uji jenis bandul (pendulum) dinamis untuk mengukur energi yang hilang atau diserap pada saat karet di bagian bawah telapak bandul (*rubber pad*) alat *BPT* menggesek permukaan yang diuji. Satuan nilai kekesatan yang diukur dengan alat *BPT* adalah *British Pendulum Number (BPN)*, baik untuk permukaan uji datar atau nilai gosokan untuk benda uji lengkung. Nilai ini mempresentasikan sifat-sifat hambatan (*frictional*), sesuai dengan prosedur uji yang ditetapkan dalam SNI 03-4427 (BSN 1997), atau *TRL Road Note 27-3 RD/GN/009* (TRL 1989), atau AASHTO M 261 (AASHTO 2008).

Batasan nilai kekesatan yang diukur dengan alat Pendulum atau *BPT* dinyatakan dengan skala antara 0 dan dengan 150 *BPN* yang tertera pada skala ukur alat uji. Makin kesat permukaan yang diuji makin besar pembacaan *BPN*. *BPN* dan nilai gesekan dari jenis permukaan yang serupa secara numerik bisa tidak sama, karena adanya perbedaan panjang dan bentuk permukaan yang diuji.

Korelasi secara matematis atau koreksi secara teoritis nilai gesekan (*polishing*) untuk memperoleh kesamaan numerik menggunakan alat pengukur lain atau khusus tidak akan menghasilkan suatu korelasi sehingga tidak disarankan.

Tekstur permukaan perkerasan jalan

Tekstur permukaan jalan sangat dipengaruhi oleh ukuran agregat terbesar yang digunakan dalam campuran, baik untuk campuran beraspal maupun untuk campuran beton semen. Dalam Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (Indonesia 2010), menyebutkan dalam spesifikasi umum bahwa untuk campuran beraspal dapat digunakan beberapa pilihan gradasi, yaitu gradasi halus dan gradasi kasar. Permukaan berkerasan beraspal mengandalkan mikrotekstur untuk mendapatkan nilai kekesatan yang direncanakan.

Untuk campuran beton semen (struktur untuk jembatan, bangunan gedung) pada umumnya digunakan ukuran MS-19 mm ($\frac{3}{4}$ inci) tetapi untuk perkerasan jalan beton semen dianjurkan menggunakan ukuran 37 mm ($1\frac{1}{2}$ inci) agar diperoleh tekstur dengan kedalaman tekstur yang memadai. Pada pembuatan perkerasan beton semen, tekstur sengaja dibuat menggunakan alat *tinging*, pada saat campuran beton dalam kondisi plastis. Tujuan utama dari *tinging* adalah untuk memberikan perlawanan terhadap *hydroplaning*. Alat pembuat alur tekstur (*tinging tool*) dapat terbuat dari paku baja berdiameter maksimum 3 mm atau kabel *sling* diameter maksimum 3 mm (dengan jumlah kawat baja lentur 12 buah), panjang kabel sekitar 10 cm, yang dijepitkan pada papan kayu atau pelat baja yang kuat dan rata, berukuran panjang (50 – 80) cm, lebar 10 cm. Jarak (spasi) antar paku atau kabel *sling* (20 – 25) mm untuk *tinging* memanjang, atau (10 – 40) mm untuk *tinging* melintang, kedalaman (2 – 6) mm dan lebar alur (2 – 3) mm. Alat tersebut dilengkapi dengan tangkai kayu atau logam untuk pemegang pada saat digunakan. (Dachlan 2012)

Korelasi kekesatan

Hasil penelitian oleh Sjahdanulirwan M (2000) tentang pengaruh kedalaman tekstur permukaan jalan beraspal beton aspal (*AC*), Buton Mastik Aspal (*BMA*), dan *Split Mastic Asphalt* (*SMA*) terhadap kekesatan, yaitu kekesatan meningkat dengan bertambah dalamnya tekstur permukaan. Rendahnya koefisien korelasi R^2 secara linier antara

kedalaman tekstur dan kekesatan pada perkerasan beraspal menunjukkan bahwa kekesatan tidak semata-mata dipengaruhi oleh kedalaman tekstur saja. Faktor lain misalnya komponen tekstur itu sendiri. Kedalaman tekstur yang sama dapat diperoleh dari makro dan mikro tekstur yang berbeda. Perkerasan dengan makro tekstur kasar tapi mikro tekstur rendah (licin), biasanya memiliki kekesatan yang kecil dibandingkan dengan perkerasan dengan makro tekstur yang sedang tapi mikro teksturnya tinggi (kesat), walaupun kedalaman tekstur perkerasan pertama sama atau lebih besar dari pada yang kedua. Kondisi tersebut memerlukan penelitian lanjutan dengan data yang lebih banyak.

Pada penelitian lainnya tentang friksi antara permukaan jalan basah dengan ban kendaraan adalah karena ketahanan licin ban kendaraan dan permukaan jalan tidak hanya satu-satunya sebagai indikator. Faktor lain misalnya tekstur permukaan jalan (tekstur makro dan mikro), karakteristik agregat (bentuk, gradasi, jenis, kondisi aus dan gosokan), musim, jumlah air di permukaan, temperatur (udara, permukaan dan ban kendaraan). Faktor kendaraan meliputi kecepatan kendaraan, beban kendaraan, tekanan ban dan pengendalian kendaraan. Bila sebuah jalan menjadi basah, kemampuannya untuk menyediakan tahanan gelincir menjadi sangat berkurang.

Penggunaan parameter kekesatan permukaan perkerasan jalan

TRL Road Note 27-3 (TRL 1989) memberikan standar minimum hasil uji dengan alat *BPT* pada jalan bebas hambatan *motorway* > 2.000 kendaraan per hari adalah harus lebih besar atau sama dengan 55 *BPN*.

Nilai kekesatan diukur menggunakan alat *Mu-meter* umumnya didefinisikan bahwa pada kecepatan pengujian 60 km/h daerah licin terjadi bila $MuN_{60} < 0,3$, daerah ambang bila $0,3 \leq MuN_{60} \leq 0,4$, dan daerah kesat (aman) bila $MuN_{60} > 0,4$. Pada pengujian dengan alat *Mu-meter* dengan kecepatan 50 km/h, menyatakan bahwa kecelakaan mulai muncul pada angka sekitar (0,55 – 0,60) MuN_{50} . Kecelakaan

berlipat ganda menjadi 20 kalinya pada angka (0,40 – 0,45) MuN_{50} .

Informasi dari *Giles GG (1959)* menyatakan penemuannya bahwa friksi terus berkurang bila ketebalan film atau selaput air bertambah sampai 0,51 mm (0,02 inci) friksi cenderung pada tingkat lepas (*off*). Peningkatan temperatur (udara, permukaan, tapak ban) menurunkan ketahanan terhadap licin (*Giles and Sabey 1959*). Dalam Tabel 1 ditunjukkan persyaratan nilai kekesatan yang diukur dengan alat *BPT* dan *Mu Meter*.

Hasil evaluasi Puslitbang Jalan dan Jembatan (*Burdan 1992*), menguji nilai kekesatan pada kecepatan 60 km/h (MuN_{60}) menghasilkan nilai kekesatan antara 0,33 dan 0,35 yang relatif aman terhadap selip, dan relatif sama dengan nilai kekesatan MuN_{50} sebesar 0,55 pada kecepatan 50 km/h. Nilai kekesatan yang kurang dari nilai dan pada kecepatan tersebut menunjukkan permukaan yang licin dan tidak aman terhadap ketahanan gelincir.

Tabel 1. Karakteristik kekesatan permukaan jalan

Indikator	Metode uji	Persyaratan
Dengan <i>Mu-Meter</i> :		
• MuN_{60}	SNI 03-6748	$\geq 0,33$
• MuN_{50}		$\geq 0,55$
Dengan alat <i>BPT</i> , <i>BPN</i>		
	SNI 03-4427	≥ 55

Transit New Zealand, TNZ (2002) mengaplikasikan nilai kekesatan untuk mengidentifikasi lokasi yang memerlukan pemeliharaan dengan memperbaiki kelicinan yang ditemukan di lapangan dengan tujuan untuk keselamatan berkendara di jalan. Batas-batas nilai kekesatan dibedakan dalam dua kategori yaitu *Investigatory Level (IL)* dan *Threshold Level (TL)* dalam satuan *ESC (Equilibrium SCRIM Level)*, yang besarnya antara 0,0 sampai dengan 1,0. Satuan tersebut sama dengan nilai kelicinan yang diukur dengan alat *Mu-Meter*. *NZ Transport Agency (2010)* menggunakan batas-batas kelicinan untuk jalan nasional.

Investigatory Level (IL) atau tingkat kekesatan yang diidentifikasi adalah suatu

tingkat kelicinan yang membahayakan (*skid resistance warning level*). Jika suatu seksi jalan ditemukan di bawah tingkat ini maka diperlukan suatu penyelidikan untuk mengambil langkah-langkah perbaikan. *Threshold Level (TL)* adalah tingkat batas ketahanan licin yang besarnya 0,1 di bawah *IL* dan merupakan tingkat yang diambil (*trigger level*) untuk menentukan prioritas perbaikan kelicinan.

ESC adalah data *MSSC (Mean Summer SCRIM Coefficient)* yang menerus dari tahun ke tahun. *MSSC* adalah nilai tengah (*mean*) koefisien *SCRIM* selama perioda musim panas ketika kelicinan pada umumnya paling rendah. *SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine)* adalah suatu alat yang dipasang pada mesin kendaraan untuk mengukur kelicinan permukaan jalan dalam kondisi basah, masing-masing di kedua jalur jejak roda sepanjang jalan yang dijalankan pada kecepatan 50 km/h. Batas nilai kekesatan dalam satuan *ESC* terbagi dalam 3 variasi nilai yaitu:

1. Tinggi, nilai kekesatan di atas *investigatory level (IL)*.
2. Medium, nilai kekesatan antara *IL* dan *threshold level (TL)*.
3. Rendah, nilai kekesatan di bawah *TL*.

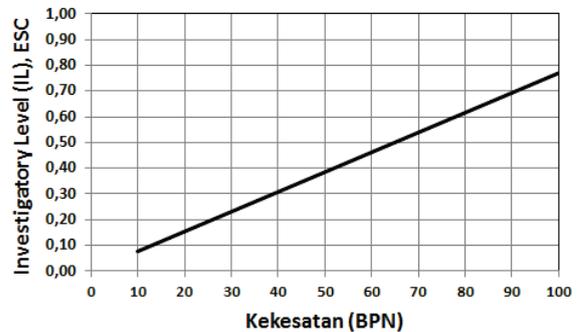
Nilai *BPT* dapat digunakan untuk menentukan nilai kekesatan *IL* dalam satuan *ESC* dengan rumus (1) atau grafik dalam Gambar 2.

Nilai kekesatan *IL*:

$$ESC = 0.0071BPN + 0,033 \dots\dots\dots (1)$$

Pada umumnya ketidakrataan permukaan jalan yang diukur dengan alat yang dikembangkan oleh *National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA)* tidak berhubungan dengan ketahanan licin (*skid resistance*). Namun, di jalan yang sangat kasar, ketahanan licin yang lebih besar diperlukan untuk manuver kendaraan yang aman. Oleh karena itu, disarankan bahwa peningkatan 0,05 pada *IL* dianggap terjadi pada jalan dengan nilai ketidakrataan *NAASRA* sebesar 4,9 m/km (310 inci/mile). Bila menggunakan rumus (1), nilai

kekesatan sebesar 55 *BPN* akan menghasilkan nilai kekesatan *IL* = 0,42 *ESC* pada kecepatan 50 km/h.



Gambar 2. Korelasi antara *BPN* dan *ESC* untuk kecepatan 50 km/h.

NZ transport agency memberikan rekomendasi dalam memilih prioritas penanganan dan upaya perbaikan permukaan jalan (*TNZ T10 Notes: 2002*). Dalam Tabel 2 ditunjukkan lima kategori lokasi dan rentang nilai *IL* dengan variasi risiko yang diijinkan.

Uji kekesatan dengan alat *British Pendulum Tester (BPT)*

Metode uji ini menetapkan cara untuk mengukur sifat-sifat kekesatan permukaan benda uji, baik mikrotekstur maupun makrotekstur permukaan yang diuji di lapangan atau di laboratorium, menggunakan alat uji pendulum atau *BPT (British Pendulum Tester)*, sesuai dengan *SNI 03-4427 (BSN 1997)*. Metode uji ini terdiri atas alat penguji jenis pendulum yang dipasang karet peluncur standar untuk menentukan sifat-sifat gesekan (*frictional*) atau kekesatan permukaan yang diuji.

Peluncur karet pada alat uji merupakan lembaran karet dengan ukuran tertentu yang direkatkan pada bagian bawah telapak bandul alat *BPT*, sebagai simulasi ban kendaraan. Peluncur karet yang digunakan ada dua jenis yaitu karet peluncur *British* terbuat dari karet alam, dan karet peluncur sintesis yang sesuai dengan ketentuan dalam *SNI 03-4427* atau *TRL Road Note 27 (TRL 1989)*, atau *AASHTO M 261 (AASHTO 2008)*.

Sebelum pengujian, permukaan yang diuji dibersihkan dan dibasahi dengan air secukupnya. Pendulum dipasang karet peluncur pada posisi menyentuh bidang kontak permukaan yang akan diuji. Batang pendulum diangkat dan diletakkan pada posisi terkunci. Batang pendulum dilepaskan dan biarkan karet peluncur menggesek atau menyinggung permukaan yang diuji, dan segera tangkap kembali pada saat bandul kembali berayun ke arah sebaliknya. Jarum indikator menunjuk angka berskala yang tertera pada piringan skala ukur dalam satuan *BPN*. Makin kesat permukaan yang diuji makin besar pembacaan *BPN*. Setiap pengujian dilakukan empat kali bila menggunakan karet alam (karet *British*), atau lima kali bila menggunakan karet sintetis. Nilai pembacaan kekesatan tersebut dirata-ratakan.

HIPOTESIS

Permukaan jalan beton aspal dan jalan beton semen mempunyai karakteristik yang berbeda yaitu permukaan jalan beton semen

memiliki nilai kekesatan awal lebih tinggi tetapi lebih cepat menurun dari pada permukaan jalan beton aspal.

METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metoda deskriptif kajian literatur hasil penelitian dari negara-negara yang telah menerapkan karakteristik permukaan jalan berdasarkan kekesatan, dan pengumpulan data primer hasil uji lapangan. Pengujian kekesatan atau ketahanan gesek permukaan jalan beraspal dan jalan beton semen menggunakan alat uji pendulum atau *BPT (British Pendulum Tester)*, sesuai dengan SNI 03-4427.

Variabel kinerja permukaan perkerasan yang diukur

Lokasi penelitian dilakukan di dua ruas jalan provinsi, yaitu:

1. Sumedang-Kadipaten Km. 67+000 – Km. 68+000 (Bdg) dan Km. 73+200 – Km. 73+300 (Bdg), Provinsi Jawa Barat.

Tabel 2. Kategori lokasi dan rentang *investigatory level (IL)* dengan variasi risiko yang diijinkan

Kategori lokasi	Deskripsi	<i>Investigatory Level, IL (ESC)</i>					
		0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
1	Jalan pendekat ke: a. Persilangan dengan jalan rel b. Lampu lalu-lintas c. Persilangan jalan pejalan kaki d. Setopan (<i>stop and giveaway</i>) di jalan Negara e. Putaran Lajur tunggal pada jembatan						
2	a. Kurva tikungan dalam kota, radius < 250 m b. Kurva tikungan luar kota, radius < 250 m c. Kurva tikungan luar kota, radius (250-400)m d. Turunan > 10% e. Jalan akses			L	M	H	
3	a. Jalan pendekat ke simpangan jalan Negara b. Turunan (5 – 10)% c. Daerah jalan bebas hambatan, jalan akses			L	M	H	
4	Jalan tanpa pembagi lajur						
5	Jalan dengan pembagi lajur						

CATATAN:

Satuan *IL* adalah *ESC*. Bila data terkoreksi musiman tidak tersedia, koefisien *SCRM* boleh digunakan sebagai pendekatan untuk *ESC*, dan dilakukan pemeriksaan lebih lanjut ketika koreksi musiman tersedia.

Bila tidak ada kendala geometris lainnya, atau situasi bila kendaraan mungkin perlu mengerem mendadak, dapat meningkatkan persyaratan ketahanan selip.

Kurva penilaian risiko pada semua kurva di luar kota dengan jari-jari antara 0 m dan 400 m ditampilkan sebagai tinggi (H), sedang (M), atau rendah (L) pada area *IL* sesuai dengan kategori lokasi 2b & 2c. Kurva perkotaan tersebut tidak termasuk dalam prosedur analisis kurva risiko.

Sumber: *NZ Transport Agency* (2010)

2. Lokasi uji coba skala penuh Buntu-Kebumen Km. 198+000 (Smr), Purwokerto, Provinsi Jawa Tengah.

a. Variabel permukaan perkerasan jalan di ruas jalan Sumedang-Kadipaten adalah:

- Beton aspal (Laston) di Km. 73+200 – Km. 300 dan
- Asbuton (aspal batu Buton) di Km. 73+200 – Km. 73+300.

Data kekesatan dan *LHR* kendaraan berat diukur pada tiga variasi waktu yaitu Februari 2006, Agustus 2006, dan Januari 2007. *LHR* kendaraan berat pada saat pengukuran adalah masing-masing 15.185 kendaraan, 15.455 kendaraan, dan 15.731 kendaraan. Pada tahun 2012 sekitar 19.912 kendaraan. *LHR* tersebut dikonversikan dalam satuan *ESAL*. Kedua perkerasan beraspal dirancang untuk 10 tahun atau beban lalu-lintas secara akumulatif mencapai 60 Juta *ESAL*.

b. Variabel perkerasan jalan beton semen di jalan percobaan skala penuh Buntu, Jawa Tengah.

Permukaan perkerasan jalan di lokasi ujicoba skala penuh meliputi jalan beton semen pracetak-prategang, jalan beton karet pracetak, dan jalan beton semen pracetak konvensional. Jalan tersebut dibangun pada akhir tahun 2009, dipasang secara memanjang. Data kekesatan dan *LHR* diukur pada 5 variasi waktu, yaitu pada bulan Mei 2010, Oktober 2010, Maret 2011, Agustus 2011, dan April 2012. *LHR* masing-masing waktu adalah 10.377 kendaraan, 12.012 kendaraan, 13.410 kendaraan, 14.230, dan 15.215 kendaraan. *LHR* tersebut dikonversikan dalam satuan *ESAL*. Umur perkerasan dirancang untuk 25 tahun dan beban lalu-lintas mencapai 24 juta *ESAL*, (Dachlan 2010). Variabel perkerasan beton meliputi:

1. Dua variabel perkerasan jalan beton semen, pracetak dipasang secara memanjang (panjang 36 meter, ukuran 12 m x 1,8 m x 0,20 m) terdiri atas 2 variasi, yaitu:

a. Beton pracetak-prategang (M4) menggunakan ukuran agregat terbesar *Maximum Size* (MS) 37 mm (1½ inci).

b. Beton pracetak-prategang (M5) menggunakan MS-19 mm (¾ inci).

2. Perkerasan beton karet pracetak dan perkerasan beton semen:

a. Beton semen pracetak konvensional (M1, panjang 200 meter, ukuran 5 m x 1,8 m x 0,28 m dan ukuran 10 m x 1,8 m x 0,28 m).

b. Beton karet pracetak (M3, panjang 200 meter, ukuran 10 m x 1,80 m x 0,28 m) menggunakan MS-37 mm (1½ inci).

c. Beton semen pracetak (M4, panjang 36 meter, ukuran 12 m x 1,8 m x 0,20 m).

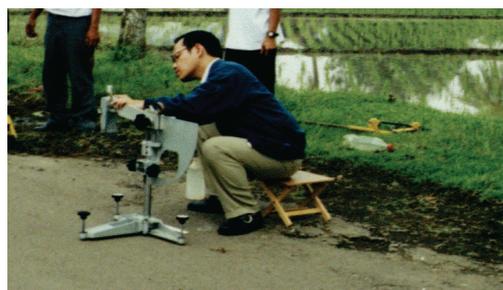
Beton karet (M3) adalah beton semen yang ditambah parutan ban karet bekas kendaraan, yang banyak dijumpai sebagai limbah lingkungan di Indonesia. Limbah ban tersebut dapat diparut menjadi serpihan kecil dengan ukuran (3 – 13) mm sebanyak sekitar 88 kg per m³ beton dan digunakan antara lain untuk perkerasan jalan beton.

3. Variabel perkerasan jalan beton semen (M1, M3, M4 dan M5) dan jalan beraspal (Laston/Asbuton)

a. Data kekesatan jalan beton semen digabungkan dan dirata-ratakan.

b. Data kekesatan jalan beton aspal (Laston) dan Asbuton digabungkan dan dirata-ratakan.

Dalam Gambar 3 diperlihatkan tipikal kegiatan pengujian kekesatan permukaan jalan beraspal menggunakan *BPT* pada titik di lajur roda luar (*outer wheel track, OWT*), dengan jarak sekitar 60 cm dari tepi perkerasan jalan. Setiap kali pengujian dilakukan pada titik yang sama. Titik-titik uji sudah ditandai menggunakan cat kuning agar mudah ditelusuri di lapangan, bila akan dilakukan monitoring.



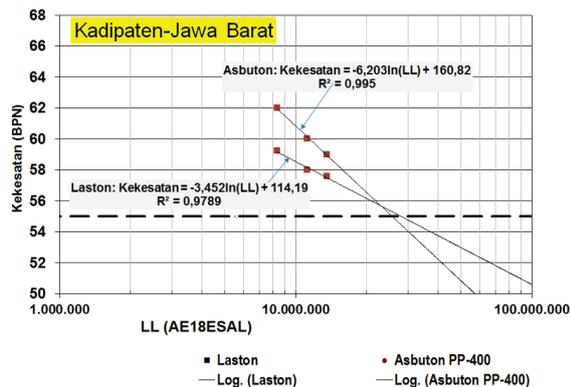
Gambar 3. Kegiatan pengujian kekesatan di lapangan

HASIL DAN ANALISIS

Kekesatan permukaan perkerasan beraspal

Dalam Gambar 4 ditunjukkan hasil uji kekesatan pada perkerasan beraspal jenis beton aspal (Laston) dan aspal batu Buton (Asbuton). Kedua jenis perkerasan beraspal tersebut adalah campuran antara agregat dan aspal dan/atau Asbuton yang dicampur dalam keadaan panas pada temperatur tertentu, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas. Penurunan nilai kekesatan akibat beban lalu-lintas dianalisis dengan garis regresi secara logaritmis, kemudian dilakukan ekstrapolasi sampai memotong batas minimum nilai kekesatan 55 BPN.

Berdasarkan kemiringan (*slope*) garis regresi secara logaritmis, Laston dan Asbuton memiliki kemiringan masing-masing -6,203 dan -3,452. Dari konstanta persamaan tersebut bisa diperkirakan bahwa asbuton memiliki kekesatan awal sebesar 160,82 BPN (di atas 150 BPN), lebih tinggi daripada Laston sebesar 114,10 BPN. Asbuton akan mencapai batas kekesatan 55 BPN pada akumulasi beban lalu-lintas 25,6 juta ESAL, yang relatif hampir sama dengan Laston pada 27,9 juta ESAL.

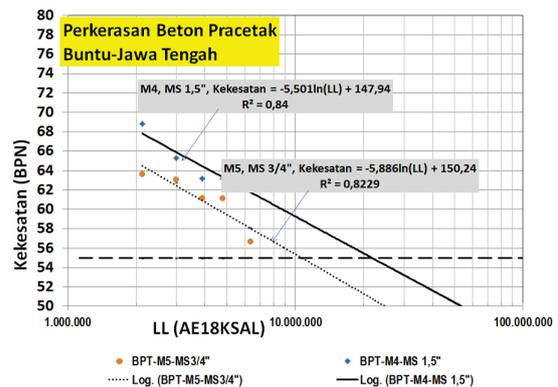


Gambar 4. Perbandingan kekesatan rata-rata untuk perkerasan beton aspal (laston) dan aspal batu buton (asbuton)

Perkerasan beton semen (pracetak) dengan dua variasi ukuran agregat

Dalam Gambar 5 diperlihatkan persamaan garis regresi dari dua variasi data seri nilai kekesatan beton semen pracetak, yaitu M5 menggunakan ukuran butir MS-19 ($\frac{3}{4}$ inci), dan M4 menggunakan ukuran butir MS-37 ($1\frac{1}{2}$ inci), yang masing-masing diperoleh dari hasil monitoring. Penurunan nilai kekesatan akibat beban lalu-lintas dianalisis dengan garis regresi secara logaritmis, kemudian dilakukan ekstrapolasi sampai memotong batas minimum nilai kekesatan 55 BPN.

Bila dianalisis berdasarkan kemiringan garis regresi secara logaritmis, M5 dan M4 memiliki kemiringan masing-masing -5,501 dan -5,886. Dari konstanta persamaan dalam Gambar 5 bisa diperkirakan bahwa M4 dan M5 masing-masing memiliki kekesatan awal sekitar 150,24 BPN (di atas 150 BPN) dan 147,94 BPN yang perbedaannya tidak signifikan, tetapi M5 akan mencapai batas kekesatan 55 BPN yang relatif lebih cepat menurun pada beban lalu-lintas 10,6 juta ESAL, sedangkan M4 pada 21,7 juta ESAL.



Gambar 5. Perbandingan kekesatan rata-rata untuk perkerasan beton beton dengan dua variasi ukuran butir maksimum

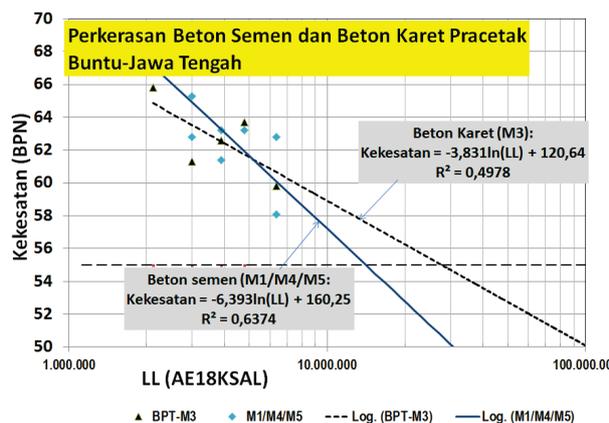
Perkerasan beton semen dan beton karet

Dalam Gambar 6 diperlihatkan persamaan garis regresi secara logaritmis dari dua variasi data seri nilai kekesatan beton semen pracetak, yaitu beton karet (M3) dan beton semen pracetak rata-rata seluruh beton

semen pracetak, yang masing-masing diperoleh dari hasil monitoring.

Penurunan nilai kekesatan akibat beban lalu-lintas dianalisis dengan garis regresi secara logaritmis, kemudian dilakukan ekstrapolasi sampai memotong batas minimum nilai kekesatan 55 BPN.

Bila dianalisis berdasarkan kemiringan garis regresi secara logaritmis, M3 dan M1/M4/M5, memiliki kemiringan masing-masing -3,831 dan -6,704. Beton semen akan mencapai batas kekesatan 55 BPN pada akumulasi beban lalu-lintas 14,1 juta ESAL, sementara Beton karet M3 pada 27,5 juta ESAL. Peranan karet dalam campuran beton memberikan sumbangan yang signifikan dalam meningkatkan nilai kekesatan pada perkerasan beton semen, walaupun nilai awalnya jauh di bawah kekesatan beton semen.

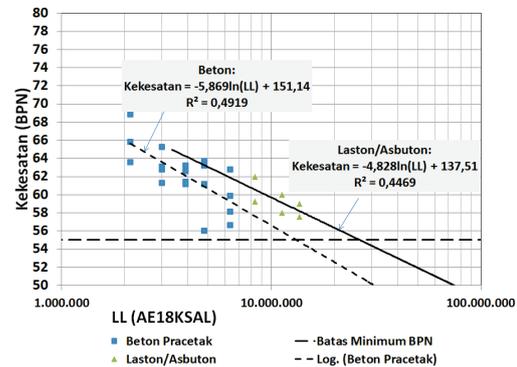


Gambar 6. Perbandingan kekesatan rata-rata untuk perkerasan beton semen dan beton karet

Perbandingan kekesatan beton aspal dan beton semen

Dalam Gambar 7 disajikan perbandingan antara kekesatan rata-rata perkerasan beton semen (pracetak) dan perkerasan beton aspal (Laston/ Asbuton). Dari konstanta persamaan dalam Gambar 7 bisa diperkirakan bahwa pada awal perkerasan jalan dibuka, perkerasan beton semen menunjukkan nilai kekesatan awal sebesar 151,14 BPN (di atas 150 BPN) yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan beraspal (Laston /Asbuton) dengan

nilai kekesatan sebesar 137,52 BPN. Nilai batas kekesatan 55 BPN masing-masing akan dicapai pada saat lalu-lintas mendekati 13,0 juta ESAL dan 26,5 juta ESAL. Bila diukur berdasarkan kemiringan garis regresi logaritmis, perkerasan beton semen memiliki kemiringan -5,869 sedang perkerasan beton aspal -4,828.



Gambar 7. Perbandingan kekesatan rata-rata untuk perkerasan beton semen pracetak (M1, M3, M4, M5) dan perkerasan beton aspal (Laston/Asbuton)

PEMBAHASAN

Karakteristik permukaan jalan

Gambaran kinerja atau sifat-sifat lapis permukaan perkerasan jalan antara perkerasan lentur (aspal minyak dan aspal batu buton atau Asbuton) dan perkerasan kaku (beton semen) ditunjukkan matrik dalam Tabel 3.

Perkerasan lentur Perkerasan Asbuton dan Laston

Pada perkerasan lentur dalam Tabel 3 terlihat rentang umur data yang diambil pada perkerasan lentur, Asbuton dan Laston, sejak perkerasan dibuka adalah 16 bulan. Data kekesatan diambil di ruas jalan antara Sumedang dan Cirebon dengan lalu-lintas rencana relatif tinggi (60 juta ESAL).

Laston dan Asbuton memiliki kemiringan garis regresi logaritmis masing-masing pada -6,203 dan -3,452, artinya Asbuton lebih cepat menurun sekitar $6,203/3,452 = 1,8$ kali dibandingkan dengan Laston. Bila nilai kekesatan minimum 55 BPN dicapai sebelum

umur rencana 10 tahun atau sebelum dicapai akumulasi beban lalu-lintas sebesar 60 juta *ESAL*, artinya gradasi agregat yang digunakan perlu ditinjau ulang. Gradasi dapat menggunakan fraksi yang relatif lebih kasar daripada yang digunakan dalam data tersebut.

Upaya untuk mengkasarkan permukaan perkerasan beraspal lainnya dapat dipertimbangkan dilakukan lapis ulang (*overlay*) tipis, pelaburan aspal (Buras) atau pelaburan aspal satu lapis (Burtu) sebelum beban lalu-lintas mencapai 25,6 Juta *ESAL*. Bila tidak ada upaya tersebut, tindakan pengaturan lalu-lintas dengan memasang rambu bahaya licin di waktu hujan perlu dipasang di beberapa tempat yang mungkin berbahaya.

Perkerasan kaku

Pada perkerasan kaku dalam Tabel 3 terdiri atas beton semen dengan empat variasi. Data diambil dalam rentang waktu 25 bulan.

Perkerasan beton dengan variasi ukuran butir MS-19 (¾ inci) dan MS-37 (1½ inci)

Dalam dokumen hasil ujicoba yang dilaksanakan di ruas jalan Buntu-Kebumen, provinsi Jawa Tengah tercatat bahwa beton pracetak dengan symbol M5 adalah perkerasan beton pracetak-prategang dengan 6 *strand*, agregat yang digunakan dengan ukuran terbesar 19 mm (¾ inci) diproduksi di pabrik dan merupakan panel pertama yang dibuat untuk tujuan tersebut. Perkerasan beton lainnya (M4) menggunakan agregat dengan ukuran MS-37 mm (1½ inci). Kemiringan garis regresi logaritmis M5 dan M4 masing-masing pada -5,886 dan -5,501, artinya perkerasan beton dengan ukuran butir agregat maksimum 19 mm lebih cepat menurun sekitar $5,886/5,501 = 1,1$ kali daripada perkerasan beton dengan ukuran agregat MS-37.

Tabel 3. Matrik kinerja permukaan perkerasan lentur dan perkerasan kaku

No.	Sifat-sifat	Asbuton	Laston	Beton Semen Pracetak			
				M1	M3	M4	M5
1	Lokasi pemantauan	Sumedang – Cirebon, Jawa Barat		Buntu – Kebumen, Jawa Tengah			
2	Jenis perkerasan	Perkerasan Lentur		Perkerasan kaku			
3	Bahan tambah	Asbuton	Laston	-	Karet	-	-
4	Umur rencana, Tahun	10		25			
5	<i>LHR</i> (2012)	40.862		24.190			
6	Lalu-lintas rencana, <i>ESAL</i>	60.000.000		24.000.000			
7	Umur data diproses sejak dibuka, Bulan	16		25			
8	Ukuran terbesar agregat utk beton	-	-	37 mm	37 mm	37 mm	19 mm
9	Prediksi dicapai $BNP \sim 55; 10^6$ <i>ESAL</i> :						
	• Asbuton vs Laston	25,6	27,9				
	• Beton semen dgn dua ukuran butir				21,7		10,6
	• Beton semen vs beton karet			10,7	27,5	10,7	10,7
	• Laston/Asbuton vs beton semen	26,5		13,0			
10	Kemiringan garis regresi logaritmis:						
	• Asbuton vs Laston	-6,203	-3,452				
	• Beton semen dgn dua ukuran butir			-	-	-5,501	-5,886
	• Beton semen vs beton karet			-6,704	-3,831	-6,704	-6,704
	• Beton aspal vs beton semen	-4,828		-5,869			

Keterangan:

M1 adalah perkerasan beton semen konvensional pracetak tanpa bahan tambah, tanpa prategang, MS 1 ½”

M3 adalah perkerasan beton semen konvensional pracetak, dengan bahan tambah parutan karet, tanpa prategang, MS 1 ½”.

M4 adalah perkerasan beton semen pracetak-prategang dengan 4 strand dan wire mesh, MS 1 ½ “

M5 adalah perkerasan beton semen pracetak-prategang dengan 6 strand tanpa wire mesh, MS ¾ “

Perkerasan beton karet (M3) dan beton semen (M1, M4 dan M5)

Pada panel dengan simbol M3 adalah perkerasan beton karet pracetak tanpa prategang, dengan bahan tambah parutan karet ban bekas (*crumb rubber*). Pada panel M3 tersebut berhasil mendapatkan tekstur yang relatif lebih baik, ditunjukkan dengan pencapaian nilai kekesatan sebesar 55 pada akumulasi beban lalu-lintas lebih dari dua kali beton semen. Penurunan kekesatan beton karet M3 dan beton semen, memiliki kemiringan masing-masing -3,831 dan -6,704, artinya kekesatan beton semen relatif lebih cepat menurun sekitar $6,704/3,831 = 1,7$ kali dari pada Beton Karet (M3). Peranan parutan karet ban bekas memberikan sumbangan yang cukup baik dalam meningkatkan kekesatan sebagai permukaan perkerasan jalan beton semen.

a) Perkerasan beton semen dan beton aspal (Laston/Asbuton)

Untuk membandingkan perkiraan penurunan kekesatan antara beton semen dengan beton aspal (Laston) termasuk Asbuton, data masing-masing jenis perkerasan digabungkan.

Nilai batas kekesatan 55 BPN beton aspal dicapai pada akumulasi beban lalu-lintas mendekati dua kali beton semen. Garis regresi logaritmis perkerasan beton semen dan Laston/Asbuton memiliki kemiringan masing-masing -5,869 dan -4,828, artinya perkerasan beton semen relatif 1,2 kali lebih cepat mengalami penurunan nilai kekesatan dari pada beton aspal.

Jika beton karet (M3) dikeluarkan dari mewakili beton semen, kemiringan perkerasan beton semen akan lebih curam, yaitu -6,704, yang berarti perkerasan beton semen (tanpa beton karet) hampir mendekati 1,6 kali lebih cepat mengalami penurunan nilai kekesatan daripada beton aspal. Lihat Tabel 3.

Bervariasinya koefisien korelasi r^2 pada permukaan perkerasan menunjukkan bahwa kekesatan tidak semata-mata dipengaruhi oleh tekstur permukaan saja. Faktor lain misalnya komponen tekstur itu sendiri. Kedalaman tekstur yang sama dapat diperoleh dari makro

dan mikro tekstur yang berbeda. Perkerasan dengan makro tekstur kasar tapi mikro tekstur rendah (licin), biasanya memiliki kekesatan yang kecil dibandingkan dengan perkerasan dengan makro tekstur yang sedang tapi mikro teksturnya tinggi (kesat), walaupun kedalaman tekstur perkerasan pertama sama atau lebih besar dari pada yang kedua (Sjahdanulirwan 1995-b).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kekesatan permukaan perkerasan beton semen (pracetak) maupun perkerasan beraspal panas (Laston/Asbuton) yang baru cenderung menurun dengan meningkatnya beban lalu-lintas. Penurunan kekesatan pada permukaan perkerasan beton semen (tanpa beton karet) 1,6 kali relatif lebih cepat daripada perkerasan beton aspal (Laston/Asbuton). Namun demikian permukaan beton semen memiliki nilai kekesatan yang jauh di atas beton aspal. Penurunan kekesatan permukaan Asbuton campuran panas 1,8 kali relatif lebih cepat daripada Laston.
2. Penurunan kekesatan permukaan beton semen yang menggunakan ukuran MS-19 mm ($\frac{3}{4}$ inci) 1,1 kali relatif lebih cepat daripada perkerasan beton semen dengan ukuran MS-37 mm ($1\frac{1}{2}$ inci), namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Penurunan kekesatan permukaan beton semen 1,7 kali lebih cepat daripada perkerasan beton karet. Peranan parutan karet ban bekas memberikan sumbangan yang cukup baik dalam meningkatkan kekesatan permukaan sebagai perkerasan jalan beton semen.

Saran

1. Upaya untuk mengkasarkan permukaan perkerasan beraspal (Asbuton campuran panas) dapat dilakukan dengan lapis ulang (*overlay*) campuran beraspal tipis, pelaburan aspal (Buras) atau pelaburan aspal satu lapis

- (Burtu) sebelum mencapai nilai kekesatan minimum 55 BPN.
2. Kajian kekesatan beton karet perlu dikaji lebih lanjut untuk kegunaan perkerasan jalan.
 3. Upaya untuk mengkasarkan permukaan perkerasan beton semen sebelum mencapai batas kekesatan 55 BPN dapat menggunakan gerinda intan (*diamond grinding*). Upaya lainnya adalah menggunakan lapis ulang (*overlay*) tipis campuran beraspal panas, Buras atau Burtu dapat dipertimbangkan. Bila tidak ada upaya tersebut, tindakan pengaturan lalu-lintas dengan memasang rambu bahaya licin di waktu hujan perlu dilakukan, terutama setelah perkerasan akan mendekati nilai kekesatan 55 BPN.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Official. 2008. *Standard Specification for Standard Tire for Pavement Frictional – Property Tests*. AASHTO M 261-96 (2004). Washington, DC: AASHTO.
- Badan Standardisasi Nasional. 1997. *Metode Pengujian Kekesatan Permukaan Perkerasan dengan Alat Pendulum*. SNI 03 – 4427. Jakarta: BSN.
- _____. 2002. *Metode pengujian kekesatan permukaan jalan dengan alat MU-meter*. SNI 03-6748-2002. Jakarta: BSN.
- Burdan, M.J. 1992. *Pengaruh tekstur permukaan jalan terhadap koefisien gesek/ keselamatan*. Laporan penelitian. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- Dachlan, A.T. 2010. *Monitoring dan Evaluasi Perkerasan jalan Beton Semen Pracetak-Prategang*. Laporan Akhir Tahun 2010. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- _____. 2012. *Monitoring dan Evaluasi Perkerasan Beton Semen*. Laporan Akhir Penelitian 2012. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.
- Giles, GG and Sabey. 1959. "Some European methods for measurement of skid resistance". In Proceeding: . *1st International. Skid Prevention Conference*. Virginia: Virginia Council of Highway Investigation and Research.
- Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum. Ditjen Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum*. Jakarta. Ditjen Bina Marga.indonesia
- New Zealand Transport Agency. 2010. *Specification For State Highway Skid Resistance Management*. NZTA T10: 2010. T10: 2010. Auckland: NZTA.
- Sjahdanulirwan, M. 1995-a. Nature and components of tyre road friction on wet roads. *Jurnal Puslitbang Jalan*. Volume 12 (1):9-13.
- _____. 1995b. "Factors affecting tyre road friction on wet road". *Jurnal Puslitbang Jalan*. 12 (3):30-42.
- _____. 2000. "Pengaruh kedalaman tekstur Terhadap Kekesatan Permukaan Jalan". *Jurnal Pusat Litbang Jalan*. 16 (3):91-103.
- _____. 2008. "Kelebihan serta Kekurangan Perkerasan Beraspal dan Beton". *Jurnal Jalan-Jembatan*. 25(1):1-11.
- Transit New Zealand. 2002. *Notes To The Specification For Skid Resistance Investigation And Treatment Selection*. TNZ T10 Notes:2002. Wellington: TNZ.
- Transportation Road Research Laboratory. 1989. *Instructions for Using the Portable Skid Resistance Tester*. Road Note 27. 2nd edition.London:HMSO