

PENGGUNAAN LIMBAH PELEBURAN TIMAH (*TIN SLAG*) SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET- WEARING COURSE* UNTUK PERKERASAN JALAN RAYA

Ormuz Firdaus¹, Rudy Kurniawan²

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

²Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

Email: ormuz.firdaus@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kepulauan Bangka Belitung terkenal merupakan penghasil timah terbesar di Indonesia. Disamping memproduksi Timah, perusahaan yang mengelola pertimahan juga menghasilkan produk sampingan (limbah) berupa terak timah (*tin slag*) yang jumlahnya bertambah terus setiap saat. Limbah ini belum dimanfaatkan seoptimal mungkin. Untuk itu perlu diadakan penelitian tentang pemanfaatan limbah timah (*tin slag*) sebagai alternatif bahan untuk perkerasan jalan raya. Agregat kasar merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, atau mineral lainnya yang berupa hasil alam. *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS- WC)* merupakan lapisan pondasi atas dengan menggunakan bahan pengikat aspal. Letaknya berada dibawah lapisan permukaan (*wearing course*). Kinerja suatu perkerasan dapat ditentukan dari pengujian Marshall yang menghasilkan parameter stabilitas, kelelahan, kerapatan, rongga dalam campuran, rongga dalam agregat, dan Marshall Quotient. Setelah melalui proses uji Marshall didapat nilai Kadar Aspal Optimum untuk agregat biasa sebesar 5,75%, dan untuk tin slag sebesar 4,80%. Dengan menggunakan metode pengujian yang didasarkan pada standar Bina Marga telah memenuhi persyaratan, sehingga tin slag dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar untuk perkerasan jalan raya dan dapat membantu dalam upaya pemeliharaan lingkungan.

Kata kunci: *Tin slag, Hot Rolled Sheet-Wearing Course, Kadar Aspal Optimum*

PENDAHULUAN

Pekerjaan pertambangan dalam proses pekerjaannya terkadang banyak menghasilkan limbah material bongkahan cukup banyak jumlahnya. Seperti halnya pada pabrik atau perusahaan pengolahan timah, disamping menghasilkan bijih timah sampai timah olahan hingga balokan juga meninggalkan sisa limbah yang biasa disebut juga terak timah (*Tin Slag*) kurang banyak dimanfaatkan. Benda uji ini berbentuk bongkahan dan dibentuk seperti halnya agregat, yang dalam pelaksanaannya akan

dibandingkan dengan agregat kasar yang lazim digunakan.

Kepulauan Bangka Belitung merupakan daerah penghasil timah terbesar di Indonesia, dimana sejak ratusan tahun yang lalu telah menjadi komoditi andalan daerah ini. PT. Timah Tbk dan PT. Kobatin sebagai perusahaan pertambangan sudah sejak lama menggali potensi ini yang sekaligus memproduksinya menjadi Timah balokan. Menurut data BPS Provinsi Kepulauan Bangka Belitung tahun 2008, PT. TIMAH dan PT. KOBATIN

menghasilkan 56.138 *Metric Ton* logam timah. (Bangka Belitung Dalam Angka, 2009), artinya potensi ini memiliki produksi dan cadangannya cukup besar namun menyisakan limbah (*tin slag*) yang begitu *signifikan* jumlahnya.

Sejak era otonomi daerah yang otoritas kewenangannya diserahkan ke daerah memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk membangun perusahaan di bidang pertambangan ini yang biasa disebut *smelter*, yang sampai saat sekarang jumlahnya 37 *Smelter* yang ada di Bangka Belitung. Dari 37 *smelter* yang ada, jumlah perusahaan yang melaporkan ekspornya ke Departemen Perdagangan hanya 14 perusahaan yang hingga Oktober 2007 ekspor timah batangan volume totalnya 74.675,73 ton. Apalagi dengan di syahkannya Peraturan Daerah (Perda) No. 6 tahun 2003 tentang penambangan umum yang diterbitkan Pemerintah Kabupaten Bangka sebagai turunan dari Undang-Undang Pokok Pertambangan Tahun 1967. Hingga terbitlah Peraturan Pemerintah No. 1 Tahun 2014 tentang Minerba yang mengatur tentang tata laksana pertambangan.

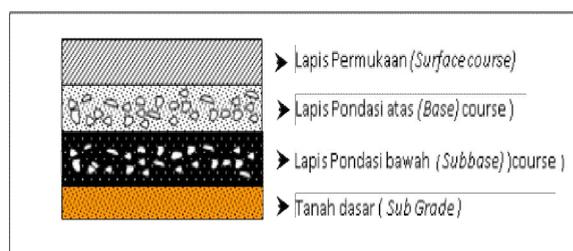
Ditinjau dari segi ekonomisnya, pemanfaatan limbah ini sebagai bahan perkerasan jalan, sangat mudah didapat dalam jumlah besar dan harganya murah karena belum banyak dimanfaatkan. Disamping itu juga membantu dalam upaya peningkatan pemeliharaan lingkungan yang akhir-akhir ini menjadi pusat perhatian dunia dan Indonesia umumnya, terlebih Kepulauan Bangka Belitung khususnya. Sehingga diperlukan kajian

untuk pemanfaatan limbah *tin slag* ini untuk perkerasan jalan.

TINJAUAN PUSTAKA

Susunan lapisan perkerasan jalan

Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut seperti, lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, dan lapisan tanah dasar.



Sumber: Sukirman, 1999

Gambar 1. Lapisan perkerasan jalan

Agregat

Agregat (*aggregate*) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Selain itu agregat/batuan didefinisikan juga sebagai bahan berbutir yang berbentuk sebagai batu pecah, kerikil, pasir dan abu batu. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) yang terdiri dari batu pecah atau kerikil, dan

merupakan komponen-komponen utama dari lapisan jalan, yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan volume (Spesifikasi Bina Marga, 2010).

Tabel 1. Ketentuan agregat kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407-2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin los Angeles	Campuran bergradasi kasar Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	SNI 2417-2007 Maks. 30%
Kekekalan agregat terhadap aspal	SNI 243-1991	Min. 95%
Angularitas (kedalaman dari permukaan ± 10 cm)	DoTs	95/90
Angularitas (kedalaman dari permukaan = 10 cm)	Pennsylvania Test Method PTMNo. 621	80/75
Partikel pipih dan lonjong	ASTM D47991	Maks. 10 %

Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam kecoklatan, pada temperatur berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan pada perkerasan macadam atau pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya. Aspal sebagai salah satu konstruksi perkerasan lentur, merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4 - 10 % berdasarkan berat, 10 – 15% berdasarkan volume. Jika pada lapisan perkerasan dengan menggunakan aspal sebagai pengikat dengan mutu yang baik dapat memberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia lain.

Tabel 2. Persyaratan Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode Uji	Persyaratan		Satuan
		Min	Maks	
Penetrasi	SNI 06-2456-2000	50	70	mm
Titik Lembek	SNI 06-2434-2000	55	-	°C
Titik Nyala	SNI 06-2433-2000	225	-	°C
Daktilitas	SNI 06-2432-2000	100	-	Cm
Berat Jenis	SNI 06-2442-2000	1,0	-	Gr/cc
Kelautan dalam trichloretilene	ASTMD 5546-94a	99	-	Berat
Penurunan Berat	SNI 06-2440-2000	-	0,8	Berat

Tin Slag (Limbah Peleburan Timah)

Sebelum dipergunakan untuk pembuatan barang jadi, suatu logam pada umumnya perlu mengalami proses pemurnian terlebih dahulu. Proses pemurnian logam selalu berdasarkan pada prinsip bahwa unsur -unsur akan terdistribusi diantara fasa-fasa dalam jumlah yang berbeda, dan fasa - fasa tersebut dapat dipisahkan secara fisik.

PT. Timah, Tbk melakukan proses pemurnian dengan cara reduksi. Terdapat dua proses reduksi yang terjadi yaitu reduksi untuk menghasilkan fasa logam utama (Timah) dan Reduksi untuk menghasilkan fasa logam pengotor (*slag*).

Bahan pereduksi untuk menghasilkan Timah (Sn) dipergunakan gas hidrogen (H₂) dan gas mono oksida (CO), dimana kedua gas ini diperoleh dari gas metan (CH₄). Proses reduksi terjadi setelah bahan dasar (*pig iron dan scrap*) pada dapur tanur tinggi mencair. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

Gambar 2. Reaksi kimia pada proses reduksi *tin slag*

Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)

HRS-WC terdiri dari dua macam campuran, Lataston lapis pondasi (HRS-Base) dan Lataston lapis permukaan (HRS-Wearing Course) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari pada Lataston lapis permukaan (HRS-WC).

Tabel 3. Ketentuan sifat campuran HRS-WC

Sifat-Sifat Campuran		HRS-WC			
		Lapis aus		Lapis pondasi	
		Senjang	Semi senjang	Senjang	Semi senjang
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9	5,5	5,5
Penyerapan aspal (%)	maks	1,7			
Jumlah rumbukan per bidang		7,5			
Rongga dalam campuran (%) (VMA)	Min	4,0			
	Maks	6,0			
Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Min	18	17		
Rongga torsi aspal (%) (VFA)	Min	68			
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800			
Pelelehan (mm)	Min	3			
Marshall Quotient (kg)	Min	250			
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90			
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan minimal (P _{min})/ 4	Min	3			

Karakteristik Campuran

Menurut Sukirman (1992), karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti

gelombang, alur atau *bleeding*. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah.

2. Durabilitas

Durabilitas dibutuhkan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

4. Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering.

5. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban bertulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak.

6. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan Pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil

yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

Marshall Test

Kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan *Marshall*. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis yaitu keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0.01".

Karakteristik Marshall

Karakteristik *Marshall* sangat mempengaruhi campuran agregat aspal yang terdiri dari parameter kepadatan (*density*), volume pori dalam agregat campuran atau rongga diantara mineral agregat (*voids in mineral aggregate/ VMA*), rongga dalam campuran beraspal (*voids in mix/ VIM*), rongga terisi aspal (*voids filled bitument/VFB*). Dari parameter-parameter tersebut hanya stabilitas dan (*flow*) yang dapat diperoleh secara langsung dari hasil pengujian *Marshall*

Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Menurut Spesifikasi umum Bina Marga dalam perencanaan perkerasan jalan diisyaratkan agar perkerasan yang dihasilkan memiliki stabilitas yang cukup baik tanpa mengabaikan *fleksibilitas*, *durabilitas*, dan kemudahan dalam pelaksanaan. Adapun karakteristik campuran *HRS-WC* meliputi Stabilitas,

kelelahan flastis (*flow*), *marshall Quotient*, rongga udara diantara butir agregat (*VMA*), rongga udara dalam campuran (*VIM*), dan rongga terisi aspal (*VFB*).

METODE PENELITIAN

Persiapan Material

Persiapan material untuk kebutuhan benda pengujian dilaboratorium dilakukan dengan cara pengambilan bahan-bahan uji di lapangan.

1. Agregat kasar, halus dan aspal

Pengambilan material benda uji agregat kasar dan halus didapat dengan cara mendapatkan bahan material agregat kasar dan halus dari toko material dan dikumpulkan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung.

2. *Tin Slag* (Limbah pengolahan timah)

Pengambilan material benda uji *Tin Slag* (Limbah pengolahan timah) didapat dari perusahaan *smelter* PT. Bukit Timah jalan Ketapang Pangkalbalam.

3. Semen *Portland* Tipe I merek Tiga

Roda untuk bahan pengisi *filler*.

Material benda uji ini didapat toko bangunan terdekat.



Gambar 2. Pengambilan sampel *Tin Slag* di PT. Bukit Timah Pangkal Balam

Pengujian Bahan

1. Pengujian Aspal

a. Penetrasi

Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pengujian ini dilakukan dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu dengan beban, selang waktu, dan suhu tertentu. Pada penelitian ini pengujian penetrasi aspal keras dilakukan pada temperatur 25°C dan pembebanan yang diberikan sebesar 100 gram dalam waktu 5 detik. Penelitian ini dilakukan sebelum dan sesudah kehilangan berat.

b. Titik Lembek

Pengujian ini dilakukan untuk memenuhi temperatur aspal keras pada saat mulai lembek. Titik lembek adalah suatu suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu (3,45-3,55 gr) mendesak turun pada suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak dibawah cincin pada ketinggian tertentu, sebagai akibat dari kecepatan pemanasan tertentu.

c. Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik diatas permukaan aspal. Titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar.

d. Daktilitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui elastisitas aspal keras, dimana

benda uji aspal keras, dimana benda uji aspal keras tersebut ditarik pada kedua sisi kecepatan 5 cm permenit pada temperatur 25°C.

e. Berat Jenis

Penentuan berat jenis bitumen keras berfungsi untuk perhitungan akhir hasil pengujian marshall. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan antara berat bitumen dengan air suling dengan volume yang sama pada suhu 25°C.

2. Pengujian Agregat

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar dan *Tin Slag*

Pada pengujian agregat kasar dan *Tin Slag* dilakukan pengujian yang sama untuk menentukan berat jenis bulk (*Bulk Specific Gravity*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*), pengujian berat isi gembur dan padat agregat serta penyerapan agregat. Khusus untuk agregat kasar dilakukan pengujian abrasi. Hasil dari Pengujian ini nantinya akan digunakan untuk menentukan berat jenis campuran.

b. Pengujian Keausan Agregat (Abrasi) dengan Alat Los Angeles

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat tahan aus lewat saringan no. 12 terhadap berat semua dalam persen.

3. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini dilakukan untuk

menentukan ukuran agregat yang tertahan dan yang lolos berdasarkan ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010.

4. Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus dilakukan pengujian *Sand Equivalen* untuk menentukan nilai kadar lumpur.

5. Perkiraan Kadar Aspal

Komposisi umum campuran aspal terdiri dari agregat, aspal dan *filler*, dimana ketiga unsur tersebut harus memenuhi ketentuan sifat-sifat campuran yang disyaratkan. Perkiraan awal kadar aspal rancangan diperoleh dengan menggunakan rumus Bina Marga Spesifikasi Umum 2010, adapun rumus yang digunakan adalah:

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% filler) \times K$$

dimana :

- Pb = Kadar aspal perkiraan
- CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 8
- FA = Agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No.200
- $Filler$ = Agregat halus lolos saringan No. 200
- K = Konstanta ; 0,5 – 1,0 untuk Laston (AC); 2.0 – 3,0 untuk *HRS-WC*

Hasil perhitungan dari benda uji digambarkan batas-batas yang disyaratkan, tentukan rentang kadar aspal yang memenuhi ketentuan dalam spesifikasi. Kemudian gambarkan rentang kadar aspal dalam skala balok. Rancangan kadar aspal umumnya mendekati tengah-

tengah rentang kadar aspal yang memenuhi semua parameter yang disyaratkan.

6. Penentuan Campuran

a. Persiapan benda uji

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji, agregat dipisahkan dengan cara penyaringan kering dan pengayakan ke dalam fraksi-fraksi sesuai gradasi agregat yang telah ditentukan untuk campuran *HRS – WC*.

Tabel 4. Ketentuan *density*

Alat uji	Kekentalan untuk		Satuan
	Pencampuran	Pemadatan	
<i>Viscosimeter Kinematik</i>	170 ± 20	280 ± 30	<i>Centistokes</i>

b. Pencampuran benda uji

Pencampuran untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm (2,5 ± 0,05 inci).

c. Pemadatan benda uji

Tahapan pemadatan benda uji yang dilakukan dilaboratorium sebagai berikut, Perlengkapan cetakan benda uji dibersihkan serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 90°C - 150°C, selanjutnya cetakan diletakkan di atas landasan pematat dan ditahan dengan pemegang cetakan, dan seterusnya.

7. Pengujian Marshall

Tahapan pengujian dilakukan melalui perendaman benda uji dalam penangas air selama 30 – 40 menit dengan temperatur tetap 60°C ± 1°C untuk benda uji yang menggunakan aspal

padat, setelah itu untuk mengetahui indeks perendaman, benda uji direndam dalam penangas air selama 24 jam dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Benda uji dikeluarkan dari penangas air dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji *Marshall*, bagian atas alat penekan uji *Marshall* dipasang di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Kualitas Bahan

Pemeriksaan kualitas bahan merupakan langkah awal dari penelitian ini, sebab dengan memeriksa dan menganalisa bahan yang akan dapat diketahui sejauh mana mutu bahan yang akan dipakai. Selanjutnya membandingkannya dengan spesifikasi maupun syarat yang menjadi standar pengujian.

1. Analisa Pemeriksaan Agregat

Bahan agregat kasar yang berupa agregat biasa maupun *tin slag* setelah dilakukan pengujian gradasi dicari prosen berat dari masing-masing agregat agar memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010.

Dari perbandingan agregat antara agregat biasa dengan *tin slag* ini, pada saringan $\frac{3}{4}$ " pada agregat biasa lebih sedikit menahan butiran dibanding dengan *tin slag*. Hal ini dikarenakan ukuran butiran pada *tin slag* lebih kecil dibandingkan dengan agregat biasa, sehingga pada *tin slag* banyak yang lolos.

Pemeriksaan agregat meliputi pemeriksaan *spesific gravity* (berat jenis

dan penyerapan) agregat kasar dan halus, pemeriksaan keausan dengan mesin *Los Angeles*.

Dari hasil pemeriksaan agregat kasar yang menggunakan agregat biasa maupun *tin slag* didapat sudah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga.

2. Analisa Pengujian Aspal

Sebelum aspal digunakan dalam penelitian, perlu terlebih dahulu diperiksa sifat-sifat aspal tersebut dengan mengacu pada standar Bina Marga. Aspal yang digunakan adalah aspal keras Pertamina dengan nilai penetrasi 65,9; titik lembek $49,25^{\circ}\text{C}$; titik nyala 326°C , titik bakar 338°C ; penurunan berat 0,230%; kelarutan dalam CCL4 99,5%; daktilitas > 100 cm, penetrasi kehilangan berat 84,22%, dan berta jenisnya 1,03. Sehingga aspal yang digunakan sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga.

3. Analisa Susunan Butiran

Dari pemeriksaan analisa saringan, untuk mencapai gradasi yang telah ditentukan dengan cara coba-coba. Agregat kasar maupun agregat halus telah memenuhi spesifikasi sehingga cara tersebut dapat digunakan. Hal ini bisa terjadi karena spesifikasi campuran ini menggunakan gradasi *Hot Rolled Sheet - Wearing Course* menerus, sehingga semua ukuran butiran digunakan.

Analisa Pengujian Dengan Alat Marshall

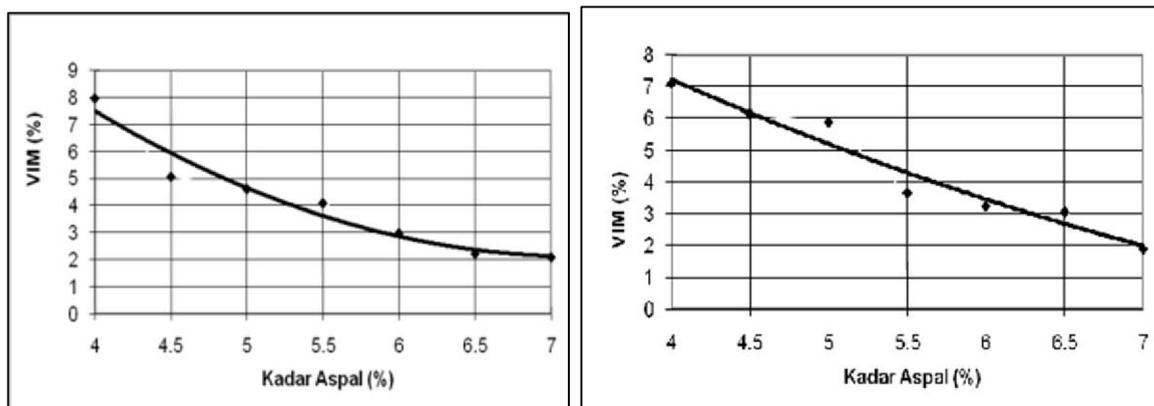
Dalam menganalisa hasil uji Marshall terlebih dahulu ditentukan berat jenis maksimum teoritis dan berat isi benda uji. Berat jenis teoritis benda uji tersebut diperoleh setelah menghitung

berat jenis bulk total agregat, berat jenis semu total agregat, berat jenis efektif total agregat dan jenis bahan pengikat.

Kemudian dilakukan perhitungan karakteristik campuran yang meliputi: Prosen rongga terhadap campuran, stabilitas, kelelahan dan kekakuan sesuai dengan prosedur perhitungan Manual Pemeriksaan Bahan Jalan dan spesifikasi Bina Marga.

1. Pengujian Prosen rongga dalam campuran (voids in total mix) Pada Agregat Biasa dan tin slag

Prosen rongga dalam campuran (*voids in total mix*) adalah banyaknya pori diantara butir – butir agregat yang diselimuti aspal, atau dengan kata lain volume pori yang masih tersisa setelah campuran agregat – aspal dipadatkan.



Gambar 3. Grafik rongga dalam campuran pada agregat biasa dan tin slag

Dari grafik diatas, hasil analisa Marshall dengan menggunakan agregat menunjukkan hubungan kadar aspal dengan rongga terhadap campuran

- Pada kadar aspal 4% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 7,095% (agregat biasa) dan 7,961% (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 4.5% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 6,143% (agregat biasa) dan 5,055% (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 5,877 % (agregat biasa) dan 4,512% (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5.5% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan

angka 3,660 % (agregat biasa) dan 4,073% (*tin slag*)

- Pada kadar aspal 6% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 3,242% (agregat biasa) dan 2,963% (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 6.5% nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 3,070% (agregat biasa) dan 2,216% (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 7 % nilai rongga terhadap campuran menunjukkan angka 1,902% (agregat biasa) dan 2,074% (*tin slag*)

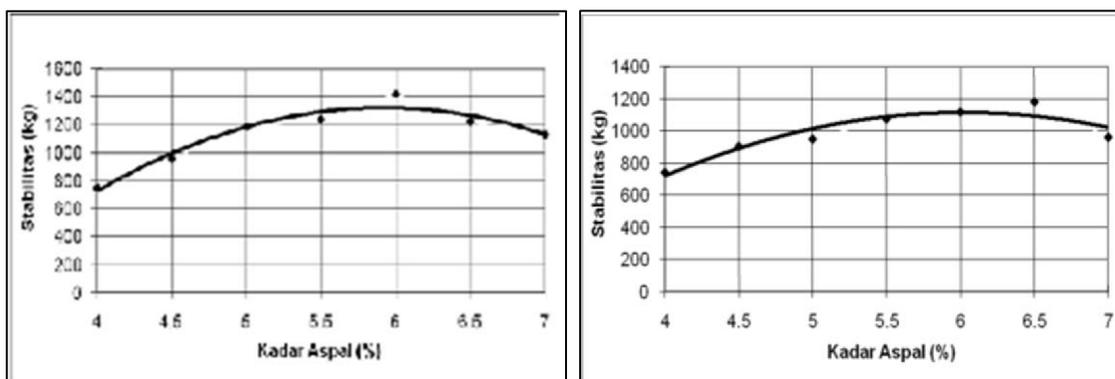
Dari analisa perhitungan Marshall dan grafik diatas menunjukkan bahwa pada kadar aspal 4%, prosen rongga terhadap campuran relatif tinggi dan pada

kadar aspal 4,5% sampai 7% prosen rongga terhadap campuran terus turun. Syarat batasan Bina Marga untuk prosen rongga terhadap campuran (3-5)%. Berarti kurang dari 3% mengakibatkan permukaan jadi licin dan apabila melebihi 5% maka campuran akan cepat rapuh. Dari hasil pengujian dengan kadar aspal optimum nilai prosen rongga terhadap campuran 4,25% (agregat biasa) dan 3,95% (*tin slag*)

berarti sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga.

2. Stabilitas Campuran

Stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang tetap, seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*), maupun *bleeding*.



Gambar 4. Grafik Nilai Stabilitas Pada Agregat biasa dan *Tin Slag*

Dari grafik diatas, hasil analisa Marshall dengan menggunakan agregat menunjukkan hubungan kadar aspal dengan nilai stabilitas :

- Pada kadar aspal 4% nilai stabilitas menunjukkan angka 738,604 kg (agregat biasa) dan 748,083 kg (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 4.5% nilai stabilitas menunjukkan angka 902,570 kg (agregat biasa) dan 956,746 kg (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5% nilai stabilitas menunjukkan angka 948,344 kg (agregat biasa) dan 1184,220 kg (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5.5% nilai stabilitas menunjukkan angka 1075,189 kg

(agregat biasa) dan 1235,194 kg (*tin slag*)

- Pada kadar aspal 6% nilai stabilitas menunjukkan angka 1119,217 kg (agregat biasa) dan 1417,075 kg (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 6.5% nilai stabilitas menunjukkan angka 1181,615 kg (agregat biasa) dan 1220,722 kg (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 7 % nilai stabilitas menunjukkan angka 960,186 kg (agregat biasa) dan 1126,198 kg (*tin slag*)

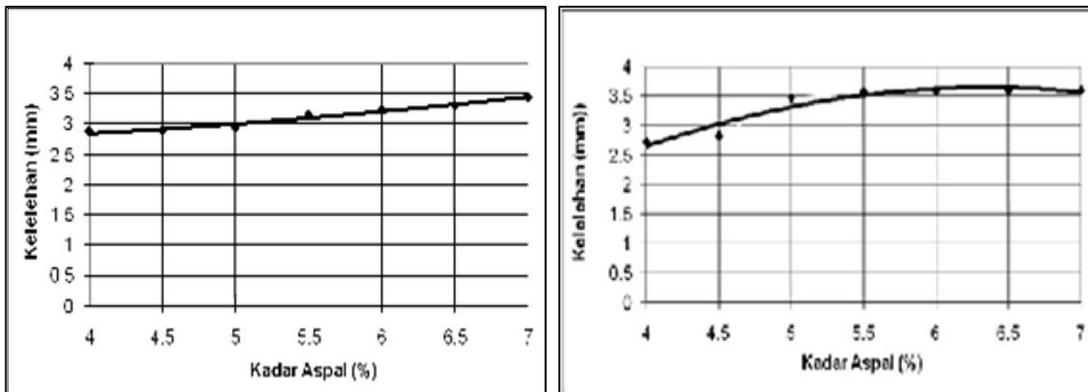
Dari analisa perhitungan Marshall dan grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan kadar 0,5% nilai stabilitas terus naik namun pada kadar aspal 7%

mengalami penurunan. Nilai stabilitas pada kadar aspal optimum sebesar 1110 kg (agregat biasa) dan 1225 kg (*tin slag*). Berarti memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu melebihi 550 kg.

3. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan adalah besarnya

perubahan bentuk dan deformasi vertikal dari lapis perkerasan akibat beban lalu lintas yang diterimanya sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh gradasi agregat, viskositas dan kadar aspal, tebal selimut aspal, serta suhu dan energi pemadatan.



Gambar 5. Grafik Nilai Kelelahan Pada Agregat Biasa dan *Tin Slag*

Dari grafik diatas, hasil analisa Marshall dengan menggunakan agregat menunjukkan hubungan kadar aspal nilai kelelahan dengan terhadap campuran

- Pada kadar aspal 4% nilai kelelahan menunjukkan angka 2,876 mm (agregat biasa) dan 2,733 mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 4.5% nilai kelelahan menunjukkan angka 2,883 mm (agregat biasa) dan 2,883 mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5% nilai kelelahan menunjukkan angka 2,933 mm (agregat biasa) dan 3,467 mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5.5% nilai kelelahan menunjukkan angka 3,150 mm (agregat biasa) dan 3,567 mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 6% nilai kelelahan menunjukkan angka 3,233 mm (agregat biasa) dan 3,583 mm (*tin slag*)

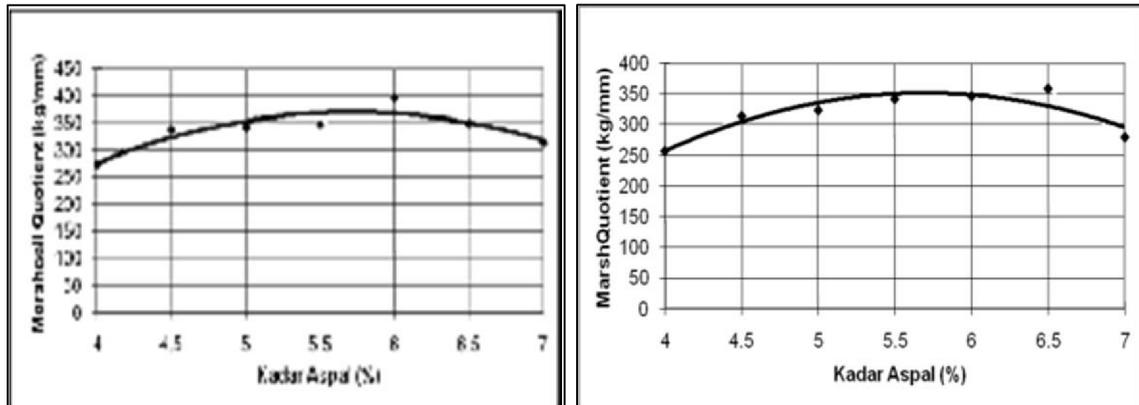
- Pada kadar aspal 6.5% nilai kelelahan menunjukkan angka 3,300 mm (agregat biasa) dan 3,600 mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 7 % nilai kelelahan menunjukkan angka 3,433 mm (agregat biasa) dan 3,612 mm (*tin slag*)

Dari analisa perhitungan Marshall dan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kelelahan cenderung relatif meningkat pada setiap penambahan kadar aspal. Walaupun peningkatannya relatif kecil tetapi dapat mempengaruhi timbulnya deformasi dan retak. Batas persyaratan dari Bina Marga untuk kelelahan adalah 2-4 mm. Dari hasil pengujian dengan kadar aspal optimum didapat nilai kelelahan sebesar 3,35 mm (agregat biasa) dan 3,40 mm (*tin slag*). Berarti sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Bina Marga.

4. Kekakuan (*Marshall Quotient*)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) adalah hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai MQ dipergunakan sebagai

pendekatan terhadap nilai kekakuan campuran atau fleksibilitas campuran. Besarnya nilai MQ dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan nilai *flow* dari campuran.



Gambar 6. Grafik Kekakuan (MQ) Pada Agregat Biasa dan *Tin Slag*

Dari grafik diatas, hasil analisa Marshall dengan menggunakan agregat menunjukkan hubungan kadar aspal nilai *Marshall Quotient* dengan terhadap campuran

- Pada kadar aspal 4% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 257,319 kg/mm (agregat biasa) dan 273,722 kg/mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 4.5% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 313,864 kg/mm (agregat biasa) dan 336,884 kg/mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 323,272 kg/mm (agregat biasa) dan 342,049 kg/mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 5.5% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 477,341 kg/mm (agregat biasa) dan 346,576 kg/mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 6% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 345,951 kg/mm (agregat biasa) dan

395,623 kg/mm (*tin slag*)

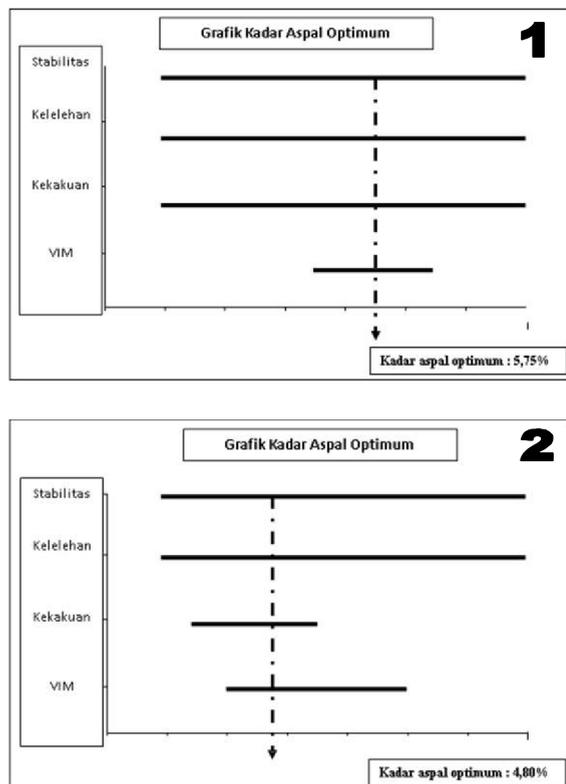
- Pada kadar aspal 6.5% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 358,078 kg/mm (agregat biasa) dan 348,580 kg/mm (*tin slag*)
- Pada kadar aspal 7% nilai Marshall Quotient menunjukkan angka 279,747 kg/mm (agregat biasa) dan 312,977 kg/mm (*tin slag*)

Dari analisa perhitungan Marshall dan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai Marshall Quotient relatif naik turun, pada kadar aspal 5,5% - 6,5% naik namun turun kembali pada kadar aspal 6,5% hingga pada kadar aspal 7% menurun. Dari hasil pengujian dengan kadar aspal optimum didapat nilai Marshall Quotient 348,5 kg/mm (agregat biasa) dan 349,0 kg/mm (*tin slag*). Berarti memenuhi persyaratan dari Bina Marga yaitu 184 - 408 kg/mm.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah kadar aspal yang memberikan kinerja terbaik bagi lapis perkerasan yang diperoleh dari garis koridor aspal yang memenuhi semua spesifikasi parameter karakteristik Marshall mengacu pada persyaratan Bina Marga.

Berdasarkan hasil analisa uji Marshall pada agregat biasa di atas, diperoleh suatu nilai optimum aspal yang dibuat berdasarkan grafik variasi kadar aspal seperti pada grafik berikut ini :



Gambar 7. Grafik Menentukan Kadar Aspal Optimum Pengujian *Marshall* pada Agregat Biasa (1) dan *Tin Slag* (2)

Dari grafik diatas didapat :

- a. Hasil nilai stabilitas pada kadar aspal optimum sebesar 1225 kg (agregat biasa) dan 1110 kg (*tin slag*)
- b. Hasil nilai flow pada kadar aspal

optimum sebesar 3,40 mm (agregat biasa) dan 3,35 mm (*tin slag*)

- c. Hasil nilai (VIM) pada kadar aspal optimum sebesar 3,95 % (agregat biasa) dan 4,25 % (*tin slag*)
- d. Hasil nilai MQ pada kadar aspal optimum sebesar 349,0 kg/mm (agregat biasa) dan 348,5 kg/mm (*tin slag*)

Perbandingan Antara Penggunaan Agregat Biasa Dengan *Tin Slag* Pada Campuran Hot Rolled Sheet - Wearing Course

1. Analisa karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course* pada agregat biasa dan *tin slag*

Berdasarkan kadar aspal optimum yang didapat dari Campuran HRS-WC, dengan agregat biasa yaitu sebesar 5,75% dan *tin slag* sebesar 4,80%. Dari kadar aspal optimum ini kemudian didapat nilai karakteristik dari campuran HRS-WC dengan agregat biasa dan *tin slag*.

Tabel 5. Perbandingan Agregat

No	Hasil Pengujian	Agregat Biasa	<i>Tin Slag</i>	Spesifikasi Bina Marga
		Kadar Aspal Optimum 5,675%	Kadar Aspal Optimum 4,85%	
1	Rogga Dalam Campuran	4,25%	3,45%	3 – 5 %
2	Stabilitas	1110 kg	1225 kg	> 550 kg
3	Kelelehan	3,35 mm	3,40 mm	2 – 4 mm
4	Kekakuan	348,5 kg/mm	349 kg/mm	200-350kg/mm

- a. Rongga terhadap Campuran (VIM)
 Nilai rongga dalam campuran (VIM) untuk campuran HRS-WC dengan menggunakan *tin slag* lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan agregat biasa, yaitu penurunan sebesar 0,8%. Hal ini berarti campuran HRS-WC

dengan agregat biasa mempunyai struktur campuran yang kurang padat dan berisi, hingga mempunyai nilai stabilitas yang kurang sehingga terdapat agak banyak rongga pada campuran. Tingginya nilai prosen rongga disebabkan oleh besarnya penterapan agregat biasa yang terjadi.

b. Stabilitas Campuran

Campuran HRS-WC dengan agregat biasa mempunyai nilai stabilitas yang lebih rendah dibandingkan jika menggunakan *tin slag*. Perbedaan penurunan ini mencapai 115 kg. Hal ini menunjukkan kemampuan HRS-WC dengan *tin slag* menerima beban lebih kuat dibandingkan dengan menggunakan agregat biasa. Disamping itu juga bahan *tin slag* mempunyai massa yang lebih kuat dibanding agregat biasa.

c. Kelelahan Campuran

Nilai kelelahan berpengaruh terhadap rongga udara dan kekentalan. Nilai kekentalan pada *tin slag* lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan agregat biasa. Perbedaannya tidak terlalu jauh menonjol yaitu sebesar 0,05 mm. Hal ini menunjukkan bahwa *tin slag* mempunyai ketahanan lebih kuat dalam menahan beban berulang tanpa terjadinya retakan.

d. Kekakuan Campuran

Kekakuan campuran aspal tergantung dari stabilitas yang merupakan hasil bagi dengan kelelehannya, sedangkan besarnya stabilitas dipengaruhi oleh kebutuhan aspal dalam campuran. Bila dibandingkan dari hasil agregat biasa dengan *tin slag*, ternyata nilai kekakuan untuk campuran HRS-WC dengan *tin slag* lebih tinggi sebesar 0,5 kg/mm. Dengan demikian campuran HRS-WC dengan agregat biasa

lebih fleksibel atau lebih mampu mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas tanpa terjadi retak.

2. Pembahasan Hasil Karakteristik Campuran

Nilai stabilitas, kelelahan dan kekakuan dari campuran HRS-WC dengan agregat biasa lebih kecil dibanding dengan campuran HRS-WC menggunakan *tin slag*. Sedangkan nilai prosen dalam campuran HRS-WC, agregat biasa lebih besar dari campuran HRS-WC dengan *tin slag*.

Dari hasil uji Marshall tersebut, agregat biasa nilai hasil pengujian telah memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu nilai rongga dalam campuran, stabilitas, kelelahan dan nilai kekakuannya. Begitu juga sama halnya dengan uji Marshall dengan menggunakan *tin slag* juga memenuhi persyaratan Bina Marga.

Oleh karena itu, dari hasil pembahasan literatur mengenai sifat-sifat kimia dan sifat-sifat fisik *tin slag* dimana kecenderungan kelekatan tekstur permukaan yang baik juga ketahanan temperatur yang tinggi serta hasil dari pemeriksaan dan pengujian pada campuran yang dilakukan pada campuran yang menggunakan *tin slag* ini. Maka *tin slag* bisa dipergunakan sebagai agregat kasar pada campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)*. Dan juga pemanfaatan ini dapat mengurangi ketergantungan pada agregat kasar atau batu pecah yang selama ini selalu dipergunakan sebagai agregat pada setiap campuran aspal, terutama untuk pemakaian daerah yang menghasilkan terak timah (*tin slag*) dalam proses pengelolaan bijih timah.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan tentang penggunaan limbah peleburan timah (*tin slag*) sebagai pengganti agregat kasar pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Karakteristik *Marshall* campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* pada *tin slag* meliputi Rongga dalam campuran 3,45%; Stabilitas 1225 kg; kelelahan 3,40 dan kekakuan 349 kg/mm memenuhi syarat yang ditentukan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010.
2. Nilai KAO untuk campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan agregat biasa sebesar 5,75 sedangkan jika menggunakan *tin slag* sebesar 4,80. Sehingga masuk dalam rentang nilai Kadar Aspal Optimum.

DAFTAR PUSTAKA

Analisa Kimia Terhadap Tin Slag, PT. Timah Tbk, 1997, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Badan Pusat Statistik, 2009, *Kepulauan Bangka Belitung Dalam Angka*, Provinsi Kepulauan Bangka

Belitung.

Badan Standarisasi Nasional, 1996, *Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah Dalam Agregat*, Standar Nasional Indonesia.

Badan Standarisasi Nasional, 2004, *Semen Portland*, Standar Nasional Indonesia.

Departemen Pekerjaan Umum, 2010, *Spesifikasi Umum Pekerjaan Aspal*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Suprpto, TM., 2007. *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

Sukirman, S., 1991, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

Sukirman, S., 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova Bandung.

Tenriajeng, T. A., 2000, *Rekayasa Jalan Raya 2*, Penerbit Gunadarma, Jakarta.

