

**PENGAJIAN KINERJA SLAG DAN BATU GAMPING
PADA PERKERASAN JALAN
(THE STUDY OF SLAG AND LIMESTONE PERFORMANCE
ON ROAD PAVEMENT)**

Leksminingsih

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl.A.H. Nasution 264 Bandung 40294
Email : leksminingsih@pusjatan.pu.go.id
Diterima : 17 September 2010 ; Disetujui : 10 Desember 2010

ABSTRAK

Bahan perkerasan jalan umumnya terdiri dari dua komponen penting yaitu agregat dan aspal. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk perkerasan jalan yang langsung memikul beban lalu-lintas dan menyebarkannya kelapisan yang berada dibawahnya. Pada kenyataan di lapangan ada daerah-daerah tertentu yang sulit mendapatkan agregat standar untuk bahan perkerasan, alternatif untuk bahan perkerasan jalan tersebut adalah memanfaatkan bahan lokal sebagai contoh; batu gamping, agregat slag, dapat dimanfaatkan untuk daerah sekitar produsen bahan tersebut. Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen di laboratorium yaitu pembuatan campuran beraspal dari agregat slag dan batu gamping, slag dengan menggunakan 4 macam campuran beraspal. Agregat lokal slag dan gamping yang memenuhi persyaratan agregat standar (spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan) dapat digunakan untuk agregat pengganti campuran beraspal. Kinerja kekesatan perkerasan menggunakan slag lebih baik dibanding menggunakan batu gamping.

Kata kunci : perkerasan jalan, agregat standar, slag, batu gamping, aspal

ABSTRACT

Pavement materials commonly consist of two important components i.e. aggregate and asphalt. Aggregate with good quality and properties is required for road pavement which directly accommodate traffic load and distribute to layers underneath. In fact, there are some areas where aggregate standard for pavement material is unavailable, alternatively, local materials such as limestone, slag are used. The method used in the research is laboratory experiment by making four kinds of asphalt mix from slag and limestone. Slag and limestone which meet the requirements of standard aggregate can be used as alternative aggregate for asphalt mix. The performance of pavement skid resistance using slag is better compared to limestone.

Keywords: road pavement, standard aggregate, slag, limestone, asphalt

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pengkajian penggunaan agregat slag dan gamping untuk perkerasan jalan adalah merupakan langkah yang tepat di dalam mencari agregat alternatif untuk perkerasan jalan, terutama untuk daerah yang kekurangan agregat standar, sehingga agregat lokal yang tidak baku, tetapi memenuhi persyaratan standar dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Agregat lokal yang dapat memenuhi persyaratan standar misalnya agregat slag dan agregat gamping.

Banyak daerah di Indonesia yang mempunyai deposit gamping, yang sampai saat ini baru digunakan sebagai bahan lapis pondasi tanpa lapis aus (*unpaved road*), terutama untuk jalan desa.

Beberapa contoh bahan lokal :

1. Bahan lokal memenuhi syarat teknis standar namun tidak baku digunakan, contoh bahan gamping yang tersebar di seluruh Indonesia. Bahan lokal dari bahan buatan: Slag besi dan baja dari PT Krakatau Steel di Cilegon, Banten. Nikel di Pomala, Sulawesi. dan di PT Inco, Luwu, Sulawesi Selatan. (Moestofa B, 2000)
2. Bahan lokal tidak memenuhi persyaratan standar (*sub standard*), sehingga tidak dapat digunakan secara langsung, pada penggunaannya perlu diberi bahan tambah sehingga karakteristiknya berubah, sebagai contoh bahan Marmer, batuan silikat, pasir kwarsa yang tidak dapat digunakan sebagai bahan jalan karena mempunyai pelekatan yang rendah terhadap aspal, sehingga mempunyai stabilitas yang rendah

Sebagai gambaran, persentase bahan lokal/buatan yang tersebar di seluruh dunia adalah, bahan gamping sebanyak 40% umumnya digunakan sebagai bahan untuk bangunan, lapis pondasi, bahan stabilisasi. Bahan slag sebagai produk samping dari pabrik besi, baja, nikel dan tembaga sebanyak 20% digunakan sebagai bahan pondasi perkerasan jalan dan sebagai bahan timbunan, dan 20%

lainnya adalah ban karet bekas yang dapat digunakan untuk bahan tambah aspal atau sebagai bahan bakar pabrik, sisanya 20% adalah bahan hasil samping produk pabrik yang digunakan sebagai bahan tambah aspal dan campuran beraspal seperti *fiber*, polimer, selulosa, karbon, katalis dan lainnya

Penggunaan bahan lokal yang memenuhi persyaratan teknis untuk perkerasan jalan. Adapun persyaratan penggunaan bahan lokal, agar dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk perkerasan jalan adalah:

- a. Tersedianya bahan lokal yang cukup dan mudah didapat, untuk menjaga kelanjutan penggunaan sebagai bahan perkerasan jalan.
- b. Penggunaan bahan lokal lebih murah dan ekonomis untuk daerah yang tidak mempunyai cadangan agregat standar, sehingga harus didatangkan dari luar daerah
- c. Mendekati sifat kimia dan sifat fisik bahan standar, baik untuk campuran beraspal maupun lapis pondasi.
- d. Tidak menimbulkan polusi dan kerusakan lingkungan pada saat produksi antara lain emisi, bau, polutan, dan tidak mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun (B 3) (Waller F, 2000)

Agregat merupakan komponen utama dari lapis perkerasan jalan yaitu 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75- 85% berdasarkan volume.

Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan dari agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Klasifikasi agregat, berdasarkan asal kejadiannya :

- a. Batuan beku, material yang keluar kepermukaan bumi pada saat gunung meletus, misal : batu apung, *andesit*, *basalt*
- b. Batuan sedimen, terbentuk dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan, tanaman pada lapisan kulit bumi, hasil endapan di danau / laut.
 - Batuan sedimen dibentuk secara mekanik, contoh : *Breksi*, *konglomerat*,

batu pasir, batu karang, banyak mengandung silika

- Dibentuk secara organik, contoh batu gamping, batu bara, *Opal*
- Batuan sedimen dibentuk secara kimiawi, contoh batu gamping, *gips*, *flint*

c. Batuan *Metamorf*

Dari batuan beku/sedimen yang mengalami perubahan bentuk akibat tekanan dan temperatur permukaan bumi, contoh marmer, kwarsit, sabak, *flint*, sekis (Unisba, 2002)

Sifat agregat yang menentukan kualitas sebagai bahan perkerasan jalan :

- a. Kekuatan dan keawetan
Gradasi, ukuran, kadar lempung, kekerasan, bentuk butir, tekstur permukaan
- b. Kemampuan di lapis aspal
Porositas, kemungkinan basah, jenis agregat
- c. Kemudahan dalam pelaksanaan
Kelincinan (*skid resistance*), *workability*

Tujuan penelitian adalah pemanfaatan agregat lokal untuk bahan perkerasan jalan. dimana dilakukan pengujian terhadap mutu agregat lokal tersebut, sehingga memenuhi persyaratan mutu agregat standar dan dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan campuran aspal konvensional pen 60.

KAJIAN PUSTAKA

Agregat lokal/buatan

Merupakan hasil samping produk pengolahan pabrik yang dapat dimanfaatkan sebagai agregat untuk perkerasan jalan, karena memenuhi persyaratan agregat standar, contoh slag besi, nikel, tembaga dan baja.

Agregat slag yang digunakan pada percobaan

Slag yang digunakan untuk percobaan adalah produk samping dari industri baja yang terbentuk dari kombinasi bijih besi dengan flux batu kapur. Slag berbentuk *granular* dengan

ukuran bervariasi dari kasar sampai halus. Di Indonesia, 150 ton slag dihasilkan setiap harinya oleh industri baja PT Krakatau Steel, Cilegon. Banten.

Permukaan slag yang kasar dan berlubang disebabkan terperangkapnya gas ketika slag panas mengalami proses pendinginan, lubang-lubang gas tidak saling berhubungan dan tidak bersifat porous, bila slag terbelah karena proses pemecahan, maka kekasaran tidak hilang sampai butir terkecil sekalipun, karena agregat slag mempunyai kekerasan yang tinggi digabungkan dengan sifat tidak porous tersebut menyebabkan agregat slag baik untuk bahan perkerasan jalan. Beberapa keuntungan penggunaan slag antara lain: tahan terhadap tekanan, baik sebagai campuran perkerasan jalan maupun lapis pondasi. Pada keadaan lalu-lintas berat tidak terjadi kerusakan, mempunyai daya adhesi yang tinggi terhadap aspal karena agregat slag mempunyai permukaan yang kasar, sehingga kekesatannya lebih tinggi daripada agregat standar; tahan terhadap pelapukan, karena telah mengalami pemanasan yang tinggi; dapat digunakan untuk berbagai macam konstruksi perkerasan jalan (Purna Baja Hecket, 2001).

Di banyak negara, slag sudah banyak digunakan sebagai pengganti agregat baik untuk campuran beraspal maupun untuk beton semen atau sebagai bahan pondasi perkerasan. Di dalam penggunaannya, slag sering dianggap sebagai agregat (*aggregate like material*) oleh sebab itu persyaratan fisik slag biasanya dianggap sama dengan persyaratan fisik untuk agregat. Karena slag memiliki sifat kimia yang berbeda jauh dengan agregat alam maka ada syarat tambahan lainnya untuk slag agar dapat digunakan sebagai pengganti agregat standar, persyaratan tersebut adalah keawetan (BSI, 2007).

Karena slag digolongkan sebagai limbah B3 maka dalam pemanfaatannya harus mengikuti UU Lingkungan Hidup No.32 tahun 2009 (Republik Indonesia, 2009) bahan slag telah dinyatakan bebas B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), menurut *The Federal Register* (1980), telah dilakukan pengujian terhadap bahan slag dengan metode *EPA standard*, yang

menyatakan slag tidak berbahaya dengan hasil sebagai berikut: Tidak mudah terbakar, mempunyai PH 7,9 (tidak korosif), tidak bersifat reaktif dan bersifat racun yaitu mengandung sianida atau sulfide, cairan pencuci slag (lechate) adalah 100 kali dibawah standar air minum (persyaratan racun adalah 10 kali dibawah persyaratan air minum).

Agregat lokal alam

Agregat alam yang dipergunakan tanpa perubahan bentuk sebagai contoh: kerikil, pasir Agregat alam sebagai agregat lokal, memenuhi syarat agregat standar, namun tidak baku digunakan untuk bahan perkerasan jalan sebagai contoh : agregat gamping.

Agregat Gamping

Diluar negeri terutama di Amerika, agregat gamping (*limestone*) telah umum digunakan, lebih dari 50% permukaan batuan di Kentucky adalah gamping, merupakan negara bagian terbesar ke 5 yang memproduksi batu gamping. Batu gamping terdiri dari mineral kalsit (CaCO_3), beberapa berisi sebagian kecil lempung, *silt*, *chert* dan dolomit. Lebih banyak gamping terdiri dari *shell* dan *fossil* dari binatang yang hidup pada perairan dangkal, beberapa gamping berwarna coklat dan kuning karena mengandung Fe_2O_3 , dan berwarna hitam karena bahan organik. Tekstur mulai dari kristalin kasar sampai butir yang paling halus. Batu gamping akan mengeluarkan busa bila diberikan larutan asam kuat sehingga akan sangat mudah untuk membedakan dengan batu lainnya. Larutan asam di alam juga dapat melarutkan gamping.

Pemandangan yang umum di daerah Kentucky adalah banyaknya gua dan *karst*, *stalagmit* dari batu gamping.

Pada Tahun 1991, produksi batu pecah dari gamping telah diproduksi sebanyak 42.266.000 ton Batu gamping pecah digunakan terutama untuk permukaan jalan, pembuatan beton, kapur untuk pertanian, *railroad*, *ballast*, *fluxing stone*. dan juga sangat diminati sebagai *ornament* batu untuk bangunan.

Batu gamping dapat juga mengandung magnesium yang tinggi membentuk *dolostone*, sumber batu untuk konstruksi, *dolostone* terbentuk dari mineral dolomit, kalsium (Mg CO_3).

Di Iowa, gedung tertinggi mempunyai struktur dari batu gamping, sudah beribu tahun yang lalu bahan material ini digunakan untuk bangunan, batu gamping dari Iowa merupakan sumber alam, kekayaan Iowa akan batu gamping terbentang dipermukaan tanah sehingga lebih mudah untuk ditambang. (Indiana Limestone Company, 2005)

Di Indonesia sebagai contoh di Kabupaten Wonogiri menambang batu adalah mata pencaharian utama, penambangan batu kapur (*karst*) menggantikan mata pencaharian sebagai petani yang hasilnya tidak memadai.

Bentang alam *karst* yang tandus, dan musim kemarau yang panjang sehingga menyebabkan gagal panen. Hujan yang tidak turun dalam jangka waktu yang lama menyebabkan kekeringan, begitu pula yang terjadi di daerah Gunung Kidul, D.I. Yogyakarta.,

Penduduk menggali lubang pada dasar telaga, setelah semalam pada pagi harinya baru terisi air, yang digunakan oleh penduduk untuk keperluan satu hari. Karena hal ini menjadikan warga alih profesi menjadi penambang batu gamping, menjadi sandaran penghasilan utama, musimam atau alternatif.

Agregat gamping yang digunakan pada percobaan

Di Gunung Kidul, wilayah pegunungan Sewu, batu gamping belum begitu banyak ditambang seperti di Padalarang (Gambar 1), banyaknya gua membentuk gamping (*Karst*) dijadikan objek wisata, dan sebagai cagar budaya. Agregat gamping dari Gunung Kidul dapat digunakan sebagai agregat untuk lapis permukaan campuran beraspal karena mempunyai nilai abrasi yang baik.

Di daerah Tasikmalaya Selatan, di daerah Taraju mempunyai deposit 10 juta ton, batu gamping berwarna kuning sampai putih, di daerah Sukaraja dengan deposit 100 juta ton

warna putih sampai abu-abu dan di daerah Cibalong deposit 100 juta ton dengan warna putih sampai abu-abu. Agregat gamping dari Tasikmalaya dapat digunakan sebagai lapis antara (*binder*) karena mempunyai nilai abrasi yang sedang.



Gambar 1. Gamping di Gn.Kidul, DI Yogyakarta (Leksminingsih, 2004)



Gambar 2. Slag di PT. Krakatau Steel, Cilegon (Leksminingsih, 2003)

Sifat kimia dan fisik slag dan gamping

Slag dengan bahan pengikat kapur hidrasi seperti diperlihatkan pada Gambar 2 sudah banyak digunakan di dalam proses peleburan bijih besi dan baja, bahan slag mempunyai sifat kimia yang berbeda dengan bahan standar dan gamping, maka persyaratan keawetan menjadi penting. Menurut BSI 2002, persyaratan keawetan dari bahan slag dilihat dari besarnya kandungan CaO dan MgO dengan perhitungan perbandingan $CaO + 0,8 MgO < 1,2$

$SiO_2 + 0,4 Al_2O_3 + 1,75 S$ atau dengan perhitungan perbandingan $CaO < 0,9 SiO_2 + 0,6 Al_2O_3 + 1,75 S$. Pelapukan juga dapat dihitung dari perbandingan SiO_2 terhadap jumlah $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ atau dengan perbandingan SiO_2 terhadap jumlah dari $CaO + MgO$ Untuk perhitungan ini pelapukan bahan slag adalah 0,786% sedangkan pada bahan standar pelapukan mencapai 1,12%. Di dalam persyaratan bahan slag kadar sulfur (S) tidak boleh melebihi 2% dan kadar sulfat terhadap SiO_2 tidak boleh lebih dari 0,75%, karena sifat dari Sulfur dan sulfat yang sangat korosif terhadap peralatan campuran beraspal. (Wirjodiharjo W.,1998)

Untuk hal tersebut di atas, persyaratan pelapukan dari bahan slag dibatasi maksimum 4 %, berbeda dengan pelapukan pada bahan standar maksimum 12%.

Bahan gamping (*limestone*) sebagai batuan sedimen terdiri dari mineral karbonat ($CaCO_3$), dapat berasal dari klastik atau non klastik. Klastik terbentuk dari pemecahan dan deposit organisme laut, seperti *shell, coral*. Non klastik terbentuk dari presipitasi atau konsolidasi dengan batuan sedimen (*litifikasi*) dari *coral reefs*, organisme laut atau *skeleton* organisme laut.

Dapat merupakan *stalagnit* yang banyak terdapat digua kapur. Batu gamping yang bersifat *Oolitik* terdiri dari 10% batu sedimen. Batu gamping murni berwarna putih, karena terdiri dari *clay sand*, sisa bahan organis, dari oksida besi. Bagian permukaan batu gamping dapat berbentuk kristalin, klastik, granular atau padat tergantung dari cara pembentukkannya.

Di daerah Tasikmalaya Selatan umumnya batu gamping mempunyai kandungan CaO dari 53,7 sampai 54,7 %, MgO dari 0,6 sampai 2,8 % dan $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ dari 0,6 sampai 2,5%.

Komposisi kimia

Untuk melihat komposisi kimia dari agregat slag, gamping dan bahan standar dilakukan pengujian kimia hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian komposisi kimia

Komposisi	Slag	Gamping	Standar
SiO ₂	18,66 %	2,84%	54,12 %
Ca O	27,36 %	48,99%	7,72 %
Mg O	4,6 %	0,6 %	2,90 %
Al ₂ O ₃	10,4 %	0,09 %	21,14 %
Fe ₂ O ₃	13,35 %	0,49 %	3,96 %
PH	7	8,5	6,6

Sumber , ASA (2002), Soeharno (1997)

Susunan mineral batu gamping

Untuk mengetahui susunan mineral batu gamping, sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian susunan mineral batu gamping

Pengujian	Gamping ex Purwodadi	Gamping ex Padalarang
Visual, - warna - Struktur - Tekstur	- Putih kecoklatan - Kompak - Bioklastik	- Putih kecoklatan - Kompak, padu, pelapukan melalui rekahan - Bioklastik
Susunan mineral	-Mineral karbonat 65% -Cangkang fosil 25% -Lumpur karbonat 10% (lihat catatan 1)	-Mineral karbonat 65% -Cangkang fosil 15% -Lumpur karbonat 10% -Fragmen batuan 5% (lihat catatan 2)
Jenis gamping	<i>Wackstone</i> (Dunham,1962) Butiran halus lebih banyak,kurang tahan terhadap air yang bersifat asam dan cuaca	<i>Packstone</i> (Dunham,1962) Banyaknya butiran oolitik dengan massa dasar lumpur karbonat yang merata, kurang tahan terhadap air yang bersifat asam

Sumber : Soeharno, (1997)

Catatan :

1. Mineral karbonat, tidak berwarna, bening terutama tersusun dari mineral kalsit, dengan bentuk anedral mengisi cangkang fosil, berbutir dengan ukuran 0,1 – 1,1 mm,

sebagian berbentuk oolitik , sebagian telah berubah menjadi lumpur karbonat.

2. Cangkang fosil, bentuk pecahan sampai sempurna, ukuran 0,1 – 4,5 mm, jenis foraminifera, rongga – rongganya terisi oleh mineral karbonat dan lumpur karbonat.
3. Lumpur karbonat, warna kecoklatan berbutir sangat halus, merupakan massa dasar yang mengikat komponen, sebagian lagi mengisi cangkang fosil
4. Fragmen batuan, berwarna coklat, bentuk bundar, ukuran 0,2 – 4 mm, berasal dari batuan karbonat terlihat adanya cangkang fosil yang terikat pada semen lempung

Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik agregat lokal sebagian menggunakan persyaratan agregat standar yang baku, pengujian sifat fisik agregat slag dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persyaratan agregat slag

Pengujian	Metode	Persyaratan
Berat jenis	SNI 03-1969-1990	min 3,3
- Bulk - SSD - Apparent		
Penyerapan,%	SNI 03-1969-1990	maks 3
Keausan agregat dengan mesin Los Angeles,%	SNI 03-2417-1991	maks 40
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium atau Magnesium Sulfat,%	SNI 03-3407-1994	maks 4
Kelekatan agregat terhadap aspal,%	SNI 03-4428-1997	min 50
Nilai setara pasir,%	SNI 03-4142-1996	kasar maks 1
Material lolos #200,%		halus maks 3

Sumber Dept PU, (2005)

Penggunaan slag sebagai lapis aus (*wearing*) tidak memberikan indikasi kekesatan yang tinggi (kasar atau tajam) karena slag mempunyai nilai *Polishing Stone Value* (PSV) 53 sedikit diatas agregat standar dengan nilai PSV 50, sedangkan agregat gamping mempunyai nilai PSV 42, sehingga perkerasan

gamping cenderung lebih licin daripada standar, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan agregat gamping

Pengujian	Persyaratan
Berat jenis -bulk	2,5 – 2,8
Penyerapan terhadap air (%)	0,2 – 2,9
Keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i> ,%	7 - 26
Uji bentur dengan mesin <i>Impact</i> ,%	17 - 33
<i>Polished Stone Value (PSV)</i> , TRL, 1962	29 - 38
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	min 95
Nilai setara pasir, %	min 50

Sumber British Standar Institution, (2007)

Pengujian beberapa agregat gamping yang berasal dari lokasi penggalian di Indonesia yaitu: Batu gamping yang berasal dari Gn.Abari (abrasi 23,5%), Sulawesi Tenggara merupakan batuan jenis kristalin, hasil proses sedimentasi biokimia dan dapat langsung digunakan sebagai lapis pondasi atau lapis permukaan. Demikian pula batu gamping disekitar ruas jalan lintas Kalimantan menunjukkan karakteristik yang tidak jauh berbeda contoh di Kalimantan Timur, Bontang (abrasi 24,1%), sehingga dapat digunakan secara langsung sebagai bahan konstruski jalan. Adapun cadangan batu gamping dari setiap lokasi sumber bahan lokal ini menunjukkan jumlah yang cukup besar

dimana rata-rata besarnya cadangan > 2 juta m³. Batu gamping dari Gn.Kapur Kalimantan Selatan bersifat klastik, mempunyai bagian dalam cukup keras (inti batuan) tetapi kulitnya berupa lapisan kapur tipis yang lunak dan porous, mempunyai berat jenis yang rendah < 2,5 dan tidak dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Beberapa contoh hasil pengujian agregat gamping dapat dilihat pada Tabel 5.

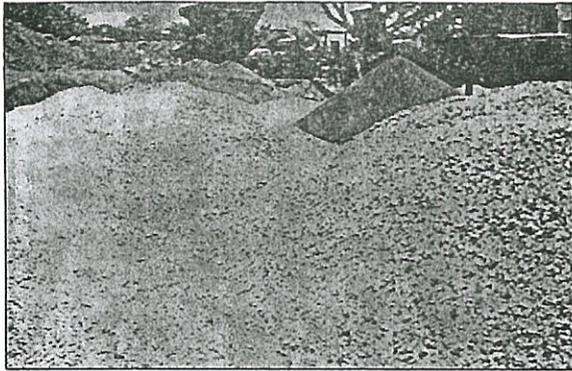
Bila dilihat dari hasil pengujian mutu agregat gamping sebanyak 10 contoh, 9 memenuhi persyaratan agregat standar, dari berat jenis >2,5 gr/cc, penyerapan <3%, pelekatan terhadap aspal >95%, abrasi sangat bervariasi, merupakan salah satu sifat utama dari agregat gamping adalah sifat kekerasannya yang ditunjukkan dengan nilai abrasi, menurut BS 812 part 1 nilai abrasi untuk agregat gamping (*lime stone*) untuk bahan jalan mempunyai batasan dari 7 sampai 26%, sedangkan kalau kita melihat sifat abrasi agregat gamping yang ada di Indonesia berkisar antara 22 sampai 37%. Hanya agregat gamping yang mempunyai abrasi <30% dapat digunakan untuk lapis aus dan lapis antara. Diatas 30% sebaiknya untuk lapis pondasi. Untuk semua pengujian menggunakan agregat gamping, baik untuk lapis aus maupun lapis antara dan lapis pondasi (*base*), campuran menggunakan agregat gamping mempunyai kinerja baik.

Bentuk dan karakteristik agregat gamping, slag dan standar: abrasi, PSV dan berat jenis dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.

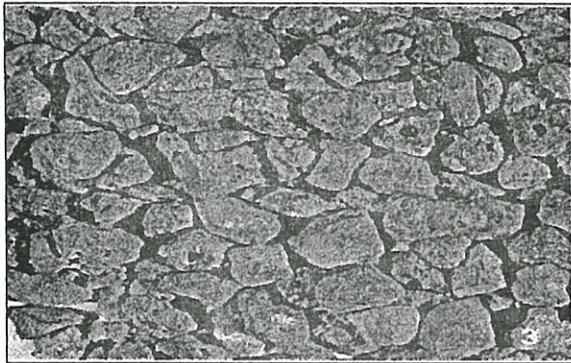
Tabel 5. Pengujian mutu agregat gamping dari beberapa lokasi di Indonesia

Sumber	Berat Jenis		Penyerapan (%)	Abrasi (%)	Pelekatan (%)
	Bulk	SSD			
Abari, Sulawesi Tenggara	2,660	2,690	1,0	23,5	95+
Bontang, Kalimantan Timur	2,630	2,670	1,21	24,1	95+
Gn.Kapur, Kalimantan Selatan	2,320	2,420	1,13	18,5	95+
Gn Masigit,Padalarang	2,670	2,690	0,58	37,5	95+
Gn Kidul, DI Yogyakarta	2,560	2,600	1,40	28,6	95+
Sukaraja, Tasikmalaya	2,510	2,520	1,34	35,2	95+
Pracimantoro, Wonogiri	2,640	2,670	0,90	26,4	95+
Rangkasbitung, Banten	2,550	2,590	1,99	29,0	95+
Purwodadi Jawa Tengah	2,540	2,630	2,43	30,0	95+
Cisolok, Sukabumi	2,750	2,770	0,70	22	95+

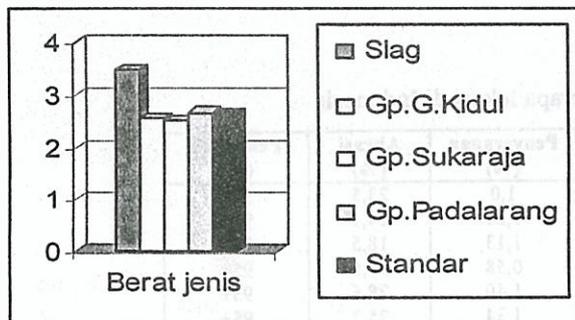
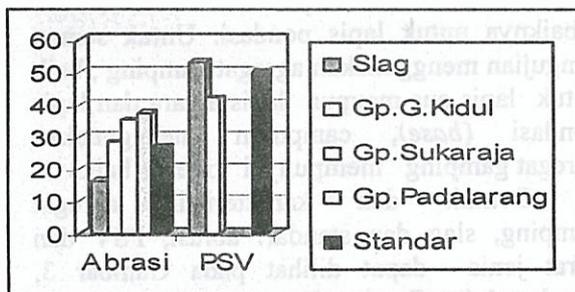
Sumber Moestafa B. (1999), Leksminingsih (2003)



Gambar 3. Agregat gamping



Gambar 4. Agregat slag



Gambar 5. Karakteristik agregat slag, gamping dan standar

HIPOTESA

Agregat lokal berupa bahan gamping dan bahan slag dapat digunakan untuk campuran beraspal dan mempunyai kinerja baik di lapangan.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan metode eksperimen di laboratorium dan di lapangan, dengan mengumpulkan data sekunder berupa data literatur mengenai agregat lokal, berupa slag dan gamping yang berada di Indonesia.

Pengujian meliputi persiapan bahan slag yang diambil dari PT Krakatau Steel di Cilegon, Banten. Agregat gamping dari Gn Kidul, DI Yogyakarta. Pengujian sifat fisik dilakukan terhadap agregat lokal tersebut, setelah memenuhi persyaratan dilakukan uji campuran beraspal di laboratorium untuk memenuhi uji: stabilitas, stabilitas dinamis, modulus resilient.

Hasil campuran beraspal diterapkan di lapangan, untuk percobaan slag dilakukan pada jalan percobaan Cileunyi, Bandung, Jabar pada Oktober 2002. Untuk percobaan lapangan menggunakan agregat gamping dilakukan pada ruas jalan Sampakan-Singosaren, Kab Bantul. D.I. Yogyakarta, pada Desember 2003.

Setelah percobaan selesai dilakukan pengamatan lapangan meliputi: pengamatan lendutan dengan alat FWD pada perkerasan slag, kekesatan, retak dan secara visual, pengamatan menghasilkan data yang diperoleh adalah baik.

HASIL DAN ANALISA

Hasil percobaan campuran beraspal di lapangan

1. Campuran beraspal menggunakan agregat slag

Setelah melalui percobaan di laboratorium dilanjutkan dengan percobaan di lapangan.

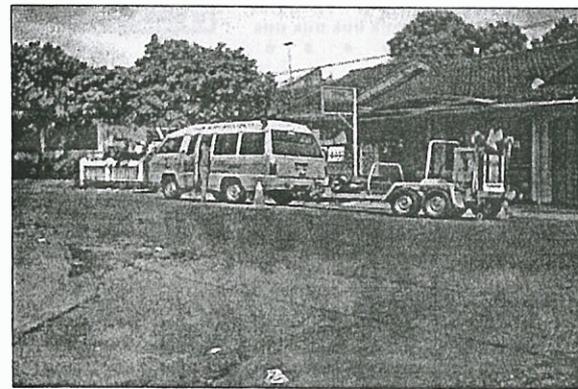
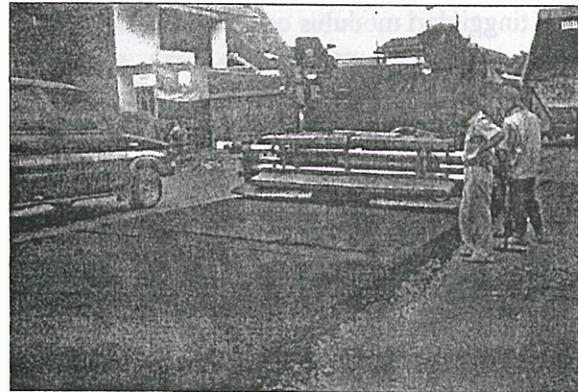
Penggunaan agregat slag dari PT Krakatau Steel untuk campuran beraspal.

Campuran beraspal dapat seluruhnya terdiri dari agregat slag (100%) dari kasar sampai halus, sehingga kepadatan yang diperoleh menjadi tinggi, ini akan menjadi kendala di lapangan dimana akan mendapatkan tonase yang sama tetapi volume mengecil. Untuk menurunkan nilai kepadatan yang tinggi $3,035 \text{ t/m}^3$, maka dilakukan pencampuran agregat kasar slag ditambah agregat standar halus (campuran 1) dimana kepadatan akan turun menjadi $2,480 \text{ t/m}^3$ cara yang kedua yaitu agregat slag kasar dan halus disubstitusi dengan pasir (campuran 2), akan mendapatkan kepadatan $2,670 \text{ t/m}^3$

Untuk melihat sifat campuran beraspal menggunakan agregat slag dapat dilihat pada Tabel 6.

Percobaan lapangan dilakukan pada jalan Cileunyi dengan total kumulatif kendaraan tahun 2010 adalah 5.640.555 yang membandingkan antara campuran 1 dan campuran 2 dan pelaksanaannya ditunjukkan pada Gambar 6. Sampai saat ini kondisi perkerasan masih dalam keadaan baik. Perkerasan slag mempunyai warna lebih hitam daripada perkerasan standar. Campuran 1 mempunyai modulus lebih tinggi daripada campuran 2, campuran yang mempunyai modulus lebih tinggi diletakkan pada jalur lalu-lintas lambat, diharapkan dapat menahan

lendutan dari kendaraan yang sering berhenti (angkutan kota) dan campuran yang mempunyai modulus rendah pada jalur cepat sehingga dapat dilalui kendaraan berat dengan waktu pembebanan yang cepat



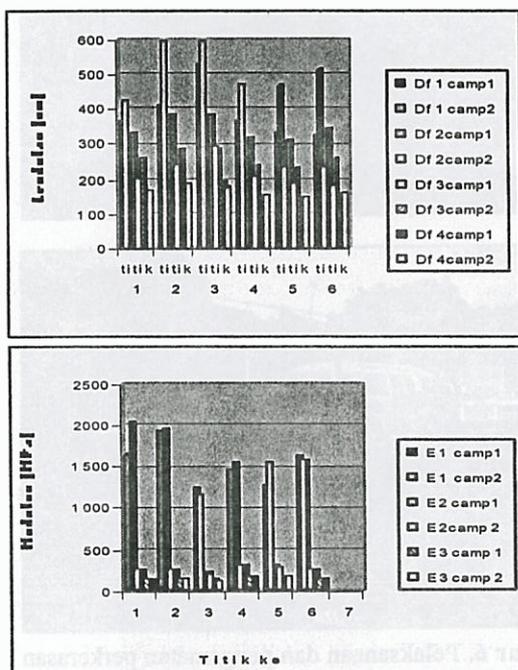
Gambar 6. Pelaksanaan dan pengamatan perkerasan slag

Tabel 6. Sifat campuran beraspal menggunakan agregat slag

No	Pengujian	Hasil				Persyaratan
		Standar	Slag	Camp 1	Camp 2	
1	K.a.Optimum,%	6,5	6,8	6,4	7,0	-
2	Kapadatan,gr/cc	2,340	2,865	2,525	2,700	-
3	VMA,%	17,45	20,89	18,59	20,63	>16
4	VFB,%	78,23	77,98	81,83	75,22	>65
5	VIM PRD,%	3,80	4,63	3,38	5,0	3 - 5
6	Stabilitas,kg	1383	1527,5	1027,6	1138,5	>800
7	Kelelahan,mm	3,37	3,73	3,50	4,07	>2
8	Hasil bagi Marshall, Kg/mm	411,1	409,5	293,6	254,9	200 - 500
9	Stabilitas sisa,%	82,3	86,5	79,5	82,1	>75
10	Stabilitas dinamis, lintasan/menit	692,3	1802,1	2520	1875	-
11	Modulus Resilient,					
-	25°C	3915	3249	4203	2780	-
-	35°C	1541	1458	1953	794	-
-	45°C	1051	891	794	524	-

Pengamatan lapangan

Pada pengamatan lendutan dengan alat FWD umur 1 tahun, lendutan campuran 2 (slag + pasir) lebih tinggi dari campuran 1 (slag+ standar), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 sehingga modulus campuran 1 akan lebih tinggi dari modulus campuran 2. Lendutan masih memenuhi persyaratan, dan modulus masih memenuhi persyaratan, tidak terjadi retak, kekesatan > 55 menurut alat uji British Pendulum Number (BPN).



Gambar 7. Pengamatan lapangan menggunakan alat FWD

2. Campuran beraspal menggunakan agregat gamping ex Gn.Kidul

Cara pemilihan batu gamping diutamakan pada kekerasannya, menggunakan alat palu besi, bila dilakukan pemukulan dengan palu gamping tersebut pecah, menandakan mempunyai abrasi yang rendah (batu kapur keprus). Penambangan batu gamping dapat dilakukan secara manual (di Gn .Kidul dan Tasikmalaya) atau dengan peledakkan (Padalarang).

Percobaan lapangan perkerasan beraspal telah dilakukan menggunakan agregat gamping pada ruas jalan Sampakan – Singosaren Kab.

Bantul, DI Yogyakarta dengan Total kumulatif Tahun 2011 5.034.544. Batu gamping diambil dari daerah Semanu di Kab Gn.Kidul dan mempunyai kekerasan abrasi 28,6%. Pelaksanaan lapangan ditunjukkan pada Gambar 8. Percobaan dilakukan sepanjang 65 meter dengan lebar jalan 6 meter. Menggunakan spesifikasi AC/Wearing dengan pembanding agregat standar. Semua campuran menggunakan pasir Kulon Progo. Sifat campuran beraspal menggunakan agregat gamping dapat dilihat pada Tabel 7.

Campuran menggunakan agregat gamping mempunyai stabilitas lebih tinggi 42%, stabilitas dinamis lebih tinggi 21,6% , dan modulus pada 25°C lebih tinggi 12,2% terhadap agregat standar



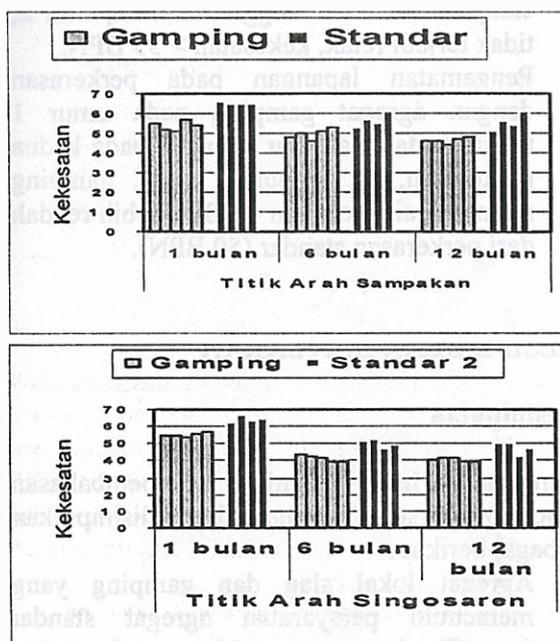
Gambar 8. Pelaksanaan dan pengamatan perkerasan gamping

Tabel 7. Sifat campuran beraspal menggunakan agregat gamping eks Gunung Kidul

No	Pengujian	Hasil		Persyaratan
		Standar Yogya	Gamping Gn.Kidul	
1	K.a.Optimum,%	5,3	6,25	-
2	Kapadatan,gr/cc	2,343	2,264	-
3	VMA,%	15,73	18,5	min 14
4	VFB,%	65,86	70,6	min 63
5	VIM PRD,%	3,19	3,6	min 2,5
6	VIM Marshall,%	5,37	5,2	3,5 – 5,5
7	Stabilitas,kg	1205	1707,8	min 800
8	Kelelehan,mm	3,27	3,1	min 3
9	Hasil bagi Marshall,Kg/mm	369	551	min 200
10	Stabilitas sisa,%	87,8	78,2	min 75
11	Stabilitas dinamis, lintasan/menit	1016,1	1235,3	-
12	Modulus resilient, MPa			-
	- 25°C	2666	2992	-
	- 35°C	1060,3	1218	-
	- 45°C	620,8	471	-

Pengamatan lapangan

Pada pengamatan umur 1 tahun, kedalaman alur masih dibawah 5 mm. Perkerasan gamping mempunyai kekesatan dengan alat pendulum 45 BPN (British Pendulum Number) lebih rendah dari agregat standar (50 BPN), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



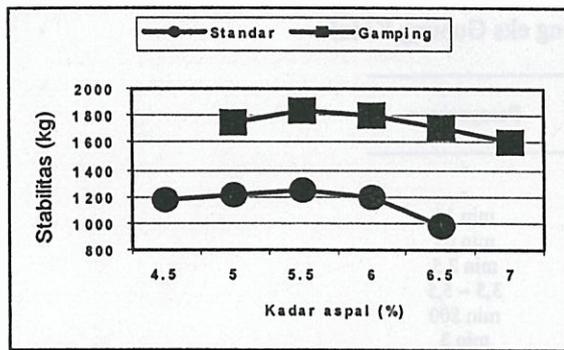
Gambar 9. Pengamatan lapangan sampai umur pelaksanaan 1 tahun

3. Penelitian campuran beraspal menggunakan agregat gamping Sukaraja, Tasikmalaya

Penelitian dilanjutkan dengan perencanaan campuran beraspal untuk lapis antara menggunakan agregat gamping ex Sukaraja, Tasikmalaya, yang mendapatkan stabilitas Marshall lebih tinggi 41,76%, stabilitas dinamis lebih tinggi 23% terhadap standar. Sifat campuran ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 10.

Tabel 8. Sifat campuran beraspal menggunakan agregat gamping eks Sukaraja

No	Pengujian	Hasil		Persyaratan
		Standar Lagadar	Gamping Sukaraja	
1	K.a.Optimum,%	5,50	6,55	-
2	Kapadatan,gr/cc	2,305	2,275	-
3	VMA,%	15,3	17,4	min 14
4	VFB,%	68,5	72	min 63
5	VIM Marshall,%	4,8	4,85	3,5 – 5,5
6	VIM PRD,%	2,8	3,0	min 2,5
7	Stabilitas,kg	1250	1772	min 800
8	Kelelehan,mm	3,25	3,2	min 3
9	Hasil bagi Marshall, Kg/mm	384,6	553,8	min 200
10	Stabilitas sisa (%)	88	87,9	min 75
11	Stabilitas dinamis, lintasan/menit	1312,5	1615,1	-
12	Modulus Resilient, (MPa)			-
	- 25°C	2361,6	1561,7	-
	- 35°C	862,5	875,7	-
	- 45°C	324,3	394,9	-



Gambar 10. Stabilitas campuran beraspal menggunakan agregat gamping Sukaraja untuk lapis antara AC-BC

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk campuran agregat slag maupun batu gamping diperoleh sifat-sifat campuran yang mencakup stabilitas Marshall, stabilitas dinamis dan modulus resilien sebagai berikut :

1. Pada percobaan campuran beraspal menggunakan agregat slag, dilakukan 4 macam campuran beraspal yang terdiri dari: campuran standar, campuran slag, campuran 1 (slag kasar + agregat halus standar), campuran 2 (slag + pasir) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Campuran beraspal menggunakan slag mempunyai stabilitas lebih tinggi 10,4% (1527,5kg), stabilitas dinamis lebih tinggi 160% (1802,1 lintasan/menit), dan modulus resilien pada 25°C lebih rendah 20,5% (3249 MPa) dari campuran standar.
2. Pada percobaan campuran beraspal (campuran 1) slag kasar + agregat halus standar mempunyai stabilitas lebih rendah 34,6% (1027,6 kg), stabilitas dinamis lebih tinggi 264% (2520 lintasan/menit), dan modulus resilien pada 25°C lebih tinggi 7,36% (4203 MPa) dari campuran standar.
3. Pada percobaan campuran beraspal (campuran 2) slag + pasir mempunyai stabilitas lebih rendah 21,5% (1138,5 kg), stabilitas dinamis lebih tinggi 170% (1875

lintasan/menit), dan modulus resilien pada 25°C lebih rendah 40,8% (2780 MPa) dari campuran standar.

4. Pada percobaan campuran beraspal menggunakan agregat batu gamping Gn. Kidul mempunyai stabilitas lebih tinggi 41,7% (1707,8 kg), stabilitas dinamis lebih tinggi 20,7% (1235,3 lintasan/menit), dan modulus resilien pada 25°C lebih tinggi 12,2% (2992 MPa) dari campuran standar.
5. Pada percobaan campuran beraspal menggunakan agregat batu gamping Sukaraja mempunyai stabilitas lebih tinggi 41,8% (1772 kg), stabilitas dinamis lebih tinggi 23% (1615,1 lintasan/menit), dan modulus resilien pada 25°C lebih rendah 51,2% (1561,7 MPa) dari campuran standar.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan untuk perkerasan slag maupun batu gamping diperoleh kinerja perkerasan sebagai berikut :

1. Pengamatan lapangan perkerasan slag pada umur 1 tahun, Pengamatan lendutan campuran 2 (slag+pasir) lebih tinggi dari campuran 1 (slag+standar), modulus campuran 1 lebih tinggi dari campuran 2, tidak terjadi retak, kekesatan > 55 BPN.
2. Pengamatan lapangan pada perkerasan dengan agregat gamping pada umur 1 tahun, kedalaman alur < 5mm pada kedua perkerasan, campuran gamping mempunyai kekesatan 45 BPN lebih rendah dari perkerasan standar (50 BPN).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan laboratorium serta lapangan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Agregat lokal slag dan gamping yang memenuhi persyaratan agregat standar (spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan) dapat digunakan untuk agregat pengganti campuran beraspal.

- Kinerja kekesatan perkerasan menggunakan slag lebih baik dibanding menggunakan batu gamping.

Saran

- Untuk tinjauan secara ekonomis perlu dilakukan penelitian secara khusus, mengingat pekerjaan campuran beraspal menggunakan agregat slag dan gamping sama dengan menggunakan agregat standar, dari mulai penambangan batu, pemecahan dengan stone crusher menurut 3 fraksi, kasar, sedang dan halus, pengujian mutu agregat, perencanaan campuran beraspal dan mobilisasi alat di lapangan. Sehingga daerah yang mempunyai deposit agregat slag dan gamping dapat memanfaatkan sebagai sumber daya alam (SDA) setempat, sehingga daerah tersebut tidak terlalu tergantung pada penggunaan agregat standar yang terbatas di daerah tersebut. Dengan penggunaan agregat slag dan gamping sebagai bahan perkerasan jalan, pembangunan jalan akan lebih ekonomis.
- Campuran beraspal dengan agregat slag, dapat seluruhnya terdiri dari agregat slag (100%) dari kasar sampai halus, sehingga kepadatan yang diperoleh menjadi tinggi, ini akan menjadi kendala di lapangan dimana akan mendapatkan tonase yang sama tetapi volume mengecil. Untuk menurunkan nilai kepadatan yang tinggi $3,035 \text{ t/m}^3$, maka dilakukan pencampuran agregat kasar slag ditambah agregat standar halus (campuran 1) dimana kepadatan akan turun menjadi $2,480 \text{ t/m}^3$ cara yang kedua yaitu agregat slag kasar dan halus disubstitusi dengan pasir (campuran 2), akan mendapatkan kepadatan $2,670 \text{ t/m}^3$

DAFTAR PUSTAKA

British Standard Institution. 2007. *Sampling, Size, Shape and Classification*. BS 812 part 1. London: BSI

- _____. 2002. *Sampling, Size, Shape and Classification*. BS 812 part 1. London: BSI
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman penggunaan slag besi dan baja untuk Campuran beraspal panas*. Pd-T 04-2005. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum
- Federal Register, Environmental Protection Agency. 1980. *Hazardous Waste and Consolodated Permit Regulation*. Vol.45 No.98. USA : EPA
- Indiana Limestone Company. 2005. *Indiana limestone*. *Institute of America*. Accessed July, 10 Sept <http://www.iliai.com//>
- Leksminingsih. 2003. Pemanfaatan agregat slag untuk campuran bahan perkerasan jalan untuk lalu-lintas padat, *Jurnal Litbang Jalan*. Vol 20.No 4 : 56-64.
- _____. 2004. *Penggunaan agregat gamping sebagai bahan perkerasan jalan*. Laporan Penelitian. Bandung: Pustrans
- Moetofa, Benny. 2000. Penelitian penggunaan bahan lokal untuk konstruksi perkerasan jalan, *Jurnal Litbang Jalan*. Vol 16 No.1: 23-32
- Purna Baja Hecket. 2001. *Brossure slag untuk bangunan jalan*. Jakarta : PBH
- Soeharno, Sriwinarti 2002. *Laboratory evaluation of a limestone aggregate for road surfacings*. Diss. Institute Teknologi Bandung.
- Universitas Islam Bandung. 2002. *Diktat penuntun praktikum geologi*. Bandung: UNISBA
- Waller, Fred. 2000. *Use of Waste Materials in hot mix Asphalt*, ASTM STP 1193. Conshohocken: ASTM
- Wirjodiharjo, Wisaksono.1998. *Ilmu tanah II,hancuran iklim*, Bogor : IPB