

PERENCANAAN GRADASI ASPAL PORUS MENGGUNAKAN MATERIAL LOKAL DENGAN METODE PEMAMPATAN KERING

Djumari¹⁾, Djoko Sarwono²⁾

^{1,2)}Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS
E-mail: sarwono60@yahoo.co.id

Abstrak

Mutu campuran aspal sangat dipengaruhi kualitas material asal. Studi ini dilakukan untuk mengkaji kelaikan gradasi material yang tersedia dipasar. Perancangan gradasi aspal porus dilakukan dengan Metode Pemampatan Maksimum (MPK) menggunakan material lokal: Agregat A (12,7 s/d 9,5 mm) Agregat B (9,5 s/d 4,75 mm) Agregat C (4,75 s/d 2,8 mm), Agregat D (2,8 s/d 0,5 mm) dan Filler 4%. Hasil penelitian didapatkan Gradasi Lab Jalan Raya-Sebelas Maret (LJR-Semar) dengan proporsi agregat (%) A: 16,32; B: 16,32; C: 48,96 dan D: 14,40 serta filler: 4. Validasi campuran menggunakan metode Marshall didapatkan nilai kadar aspal optimum 4%, nilai porositas 30,30%, nilai Stabilitas 453,82 kg, Nilai Flow 2,67mm, Unconfined Compressive Strength 2007,50 kPa, Cantabrian Test 58,71%.

Kata kunci : densitas, Metode Pemampatan Maksimum, porositas

Abstract

The quality of asphalt mixture is strongly influenced by its raw materials. This study was carried out in order to assess the suitability of material gradation which was ready in market. The gradation design of the porous asphalt with maximum compression method (MCM), applies local material : aggregate A (9 to 12,7 mm); aggregate B (4,75 to 9 mm); aggregate C (2,8 to 4,75mm) aggregate D (0,5 to 2,8 mm) and filler. The research resulted that the gradation called "LJR-Semar" with proportion of aggregate (%) A: 16,32; B: 16,32; C: 48,96 and D:14,40 and Filler: 4. Validation of mixture with Marshall Test, obtained 453,82 kg of mixture stability with 4% of optimum asphalt content, 30,30% of mixture porosity; 2,67 mm of flow; 2007,50 kPa of unconfined compressive strength and 58,71 % of Cantabrian test.

Keyword: density, Maximum Compression Method, porosity.

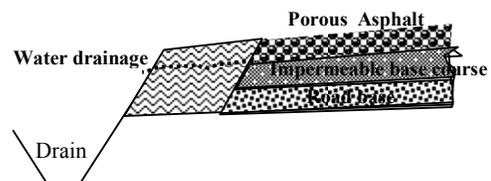
1. PENDAHULUAN

Aspal porus adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran jenis yang lain. Kandungan rongga/pori dalam jumlah yang besar, diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran.

Perkerasan konvensional mempunyai permukaan kedap air. Sistem drainase yang terjadi melalui permukaan sesuai kemiringan permukaan jalan. Air mengalir ke bagian tepi badan jalan kemudian masuk ke saluran samping, waktu yang dibutuhkan dalam proses ini menimbulkan adanya selapis air (genangan menyeluruh) di permukaan jalan.

Perkerasan aspal porus mempunyai sistem drainase ganda. Pengaliran air terlaksana lewat permukaan dan oleh lapisan itu sendiri, yakni melalui pori-pori yang dimilikinya (lihat Gambar1). Pori-pori yang terdapat di dalam campuran memungkinkan air da-

pat langsung meresap masuk ke dalam lapisan, mengalir menuju ke bagian tepi badan jalan dan kemudian masuk ke saluran samping.



Gambar 1. Sistem drainase aspal porus

Proses pengaliran air ganda tersebut memerlukan dukungan lapis yang kedap di bawah lapisan aspal porus agar tidak terjadi perembesan ke pondasi jalan.

Gradasi agregat menentukan sifat aspal porus. Berbagai macam agregat telah dikembangkan diberbagai lembaga penelitian dari berbagai negara. Gradasi agregat tersebut pada umumnya adalah berdasarkan komposisi tertentu dengan hasil yang sudah diuji dan dapat diandalkan, namun demikian tidak dapat diterangkan bagaimana komposisi gradasi tersebut dikembangkan kecuali dengan percobaan yang berulang-ulang [1].

Tabel 1. Karakteristik porus aspal hasil penelitian

| Peneliti | <i>densitas porositas</i> | | <i>Marshall</i> | | abrasi | <i>Unconfined Compressive strength</i> |
|--|---------------------------|--------|-------------------|-------------|--------|--|
| | (gr/cm ³) | (%) | Stabilitas (kg) | Flow (mm) | | |
| Ir. Ari Setyawan, M. Sc, Ph. D ¹⁾ | | 28,800 | | | ≤ 16 | 1692 |
| Ir. Amwar Yamin, MT ²⁾ | 1,860 | | 581,760 | 2,854 | | |
| Muhammad Karamin, ST, M.Sc ³⁾ | | | 456,000 | | | |
| Ir. Hardiman, M. Sc ⁴⁾ | | 20,500 | | | 4,500 | |

Sumber : ¹⁾ A. Setyawan et al, 2002, ²⁾ A. Yamin, 2004, ³⁾ M. Karamin, 2004, ⁴⁾ Hardiman, 2004

Tabel 2. Contoh Gradasi Campuran Aspal Porus

| <i>Gradation Designation</i> | % <i>Passing</i> | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 14,000 | 10,000 | 9,500 | 6,300 | 4,750 | 3,350 | 2,360 | 0,600 | 0,300 | 0,150 | 0,075 |
| BS 10 mm ¹⁾ | 100 | 90-100 | - | 40 - 55 | - | 22 - 28 | - | - | - | - | 3 - 6 |
| BVR 10 mm ²⁾ | 100 | 90-100 | - | 40 - 55 | - | 8 - 16 | - | - | - | - | 3 - 6 |
| Jepang 13 mm ³⁾ | 92-100 | - | 62-81 | - | 10-31 | - | 10-21 | 4-17 | 3-12 | 3-8 | 2-7 |

Keterangan : ¹⁾ : *British Standard Gradation Limits*,

²⁾ : *Non British Standard/Black water Valley Road (BVR)*, ³⁾ : *Gradasi Jepang*

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar, sedang agregat halus dan filler ditambahkan sedemikian rupa hingga tidak akan menghalangi *interlock* antar agregat kasar tersebut. Salah satu metode untuk menentukan gradasi agregat adalah dengan memproduksi campuran yang mempunyai densitas maksimum atau porositas minimum [1].

Material yang dipakai sebagai bahan perkerasan berasal dari bermacam tempat (daerah setempat) dengan sifat bawaan yang dimilikinya, dan tersedia di pasaran apa adanya. Hal ini perlu ditekankan karena split produk mesin pemecah batu kadang berukuran berfluktuatif. Gradasi baku campuran aspal porus belum tersedia. Parameter yang lazim dirujuk untuk desain studi meliputi porositas, sedang persyaratan lainnya menyesuaikan standar perkerasan yang ada sesuai kelas dan fungsi jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gradasi agregat aspal porus dari material lokal dari Karanganyar, dengan metode densitas maksimum dan target porositas.

2. KAJIAN PUSTAKA

Peningkatan proporsi agregat kasar dan mengurangi agregat halus dapat meningkatkan nilai rongga dalam campuran. Stabilitas *Marshall* campuran aspal porus lebih rendah dari beton aspal yang menggunakan gradasi rapat, namun meningkat bila menggunakan gradasi terbuka dan fraksi halusanya diperbanyak (Cabrera *et al.*, 1996)[2]. Aspal porus adalah campuran aspal dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai pori-pori udara berkisar 20,00%. (Khalid & Jimenes, 1994).[3]. Aspal Porus didesain untuk meningkatkan besar koefisien gesek pada permukaan perkerasan (Kandhall & Mallick, 2001). Aspal Porus adalah jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28-32%) dengan tetap menjaga kadar aspal campuran

sehingga tidak menimbulkan *floating* maupun *bleeding*. [4]. Penelitian Aspal Porous menggunakan *filler* 4,00% (terdiri dari 2,00% *hydrated lime* dan 2,00% *ordinary portland cement*). Bahan pengikat aspal semen penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 4,50%, menunjukkan hasil abrasi campuran (catatan: pengujian abrasi tanpa bola baja) sebesar 5,00%, dan porositas sebesar 22,50% [5].

Karakteristik lapisan aspal porus telah dilakukan penelitian di beberapa negara, diantaranya Malaysia, Switserland, Inggris, Amerika, dan Jepang. Adapun hasilnya ditampilkan pada Tabel.1.

3. DASAR TEORI

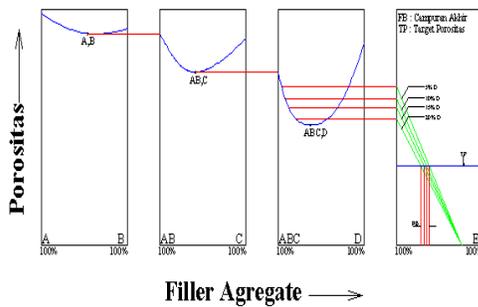
Aspal porus sangat terkait dengan perilaku dan sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar diatas 85% terhadap berat total campuran, sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga. Rongga yang dikandung diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mengalirkan air baik secara arah vertikal maupun horizontal. Sifat agregat yang memberikan pengaruh penting pada campuran porus aspal antara lain gradasi/ pembagian ukuran agregat.

Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu : Gradasi Seragam (*uniform gradation*) yaitu agregat dengan ukuran butir yang hampir sama; Gradasi Baik (*well gradation*), merupakan agregat dengan ukuran butir dari besar ke kecil secara proporsional dan Gradasi Senjang (*gap gradation*) adalah gradasi dimana ada bagian tertentu yang dihilangkan sebagian. Gradasi aspal porus pada umumnya termasuk jenis gradasi baik. Tabel 2 menyajikan contoh gradasi aspal porus yang telah dikembangkan Inggris.

Metode pemampatan kering (MPK), *Dry Penetration Method*, dikembangkan untuk mencari komposisi campuran agregat agar didapatkan kepadatan maksi-

imum (*maximum density*) pada saat tercapai porositas minimum, sesuai kondisi target. Target porositas-kepadatan diperoleh dengan cara mencampurkan fraksi kasar, agregat A, B dan C, dan dihasilkan campuran fraksi kasar (CFK).

Campuran A,B dan C dengan porositas minimum tersebut dianggap sebagai komposisi agregat yang paling stabil dengan kekuatan dan ketahanan yang cukup untuk menahan deformasi. Target porositas diperoleh dengan mencampurkan CFK dengan agregat D sehingga diperoleh campuran porositas minimum (CPM). Target densitas-maksimum porositas-minimum didapatkan dengan mencampur CPM dengan E (*filler*). Penggambaran konsep ini seperti disajikan dalam Gambar 2. [2].



Gambar 2. Diagram Pendekatan Prinsip MPK

4. METODE PENELITIAN

Densitas maksimum dicari menggunakan MPK. Pemadatan dilakukan melalui empat tahapan percobaan dengan menggetarkan *mould* benda uji menggunakan *vibrator compaction* sampai dicapai volume minimum (catatan: tinggi campuran dalam *mould* tetap dalam tiga kali pengukuran ulang). Agregat percobaan menggunakan nominal agregat yang lazim dijumpai dipasaran, yaitu agregat A(9,50 s/d 12,70 mm); B(4,75 s/d 9,50 mm); C (2,80 s/d 4,75 mm) dan D(0,50 s/d 2,80 mm) serta filler. Pentahapan disajikan

sebagai berikut : 1. Mencampur agregat A&B dalam 4 kombinasi menggunakan MPK didapat campuran A&B densitas maksimum (AB_{dm}), 2. Selanjutnya mencampur (AB_{dm}) ditambah agregat C dalam 5 kombinasi sehingga didapat ABC_{dm}, 3. Untuk mendapatkan densitas MPK diupayakan dengan mencampur ABC_{dm}+D ditambah dengan *filler* sebesar 4% dari berat agregat. Proporsi dari agregat disajikan dalam Tabel 3.

4. Dengan MPK akan didapatkan densitas maksimum sebagai dasar penyusunan gradasi rancangan. Selanjutnya untuk validasi campuran dilakukan menggunakan metode Marshall dan parameter *Unconfined Compressive Strength Test*, dan *Cantabrian Test*.

Nilai densitas, berat jenis (*Specific Gravity*) dan porositas dihitung menggunakan rumus (1) dan (2).

$$D = \frac{4 Ma}{\pi d^2 h} \tag{1}$$

dengan:

- D : densitas (gr/cm³)
- Ma : berat sampel udara (gr),
- d : diameter sampel (cm),
- h : tinggi sampel(cm)

$$SG = \frac{100}{\frac{\% Wag}{SGag} + \frac{\% Wa}{SGa} + \frac{\% Wf}{SGf}} \tag{2}$$

dengan:

- SG = *specific gravity* campuran,
- %Wag = persen berat agregat (%),
- % Wa = persen berat aspal (%),
- % Wf = persen berat filler (%),
- SGag = *Specific Gravity* agregat (gr/cm³),
- SGa = *Specific Gravity* aspal (gr/cm³),
- SGf = *Specific Gravity* filler (gr/cm³).

Hasil densitas D dan berat jenis SG, digunakan untuk menghitung porositas (P) dengan menggunakan rumus (3) :

$$P = \left[1 - \frac{D}{SG} \right] * 100\% \tag{3}$$

Tabel 3. Proporsi Kombinasi Agregat [2]

| Kombinasi proporsi masing masing agregat | | | | | |
|--|---------|----------|----------|----------|----------|
| Trial 1 campuran A & B | A20B80 | A30B70 | A40B60 | A50B50 | |
| Agregat A (12,7 s/d 9,5mm) | 20% | 30% | 40% | 50% | |
| Agregat B (9,5 s/d 4,75mm) | 80% | 70% | 60% | 50% | |
| Trial 2 campuran AB & C | AB40C60 | AB50C50 | AB60C40 | AB70C30 | AB480C20 |
| Agregat AB | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% |
| Agregat C (4,75 s/d 2,8mm) | 60% | 50% | 40% | 30% | 20% |
| Trial 3 campuran ABC & DE | ABC95D5 | ABC90D10 | ABC85D15 | ABC80D20 | |
| Agregat ABC | 95% | 91,2% | 90% | 86,4% | 85% |
| Agregat D (2,8s/d0,5mm) | 5% | 4,8% | 10% | 9,6% | 15% |
| Filler (<0,075 mm) | 0% | 4% | 0% | 4% | 0% |
| | | | | 80% | 76,8% |
| | | | | 20% | 19,2% |
| | | | | 0% | 4% |

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah benda uji pada masing-masing proporsi percobaan dibuat tiga buah, dimana hasil hitungan digunakan rerata matematis. Hasil pemeriksaan dan penghitungan *densitas* maksimum serta porositas menggunakan MPK, disajikan dalam Tabel 4.

Hasil percobaan dalam Tabel 4, dibuat grafik hubungan *densitas* dengan prosentase agregat (Gambar 3) serta porositas dengan prosentase agregat (Gambar 4).

Gambar 3 menunjukkan perubahan bertahap *densitas* terkait prosentase agregat, komposisi A50B50 diperoleh *densitas* 1,33 gr/cm³, komposisi AB40C60 menghasilkan *densitas* 1,39 gr/cm³ dan komposisi

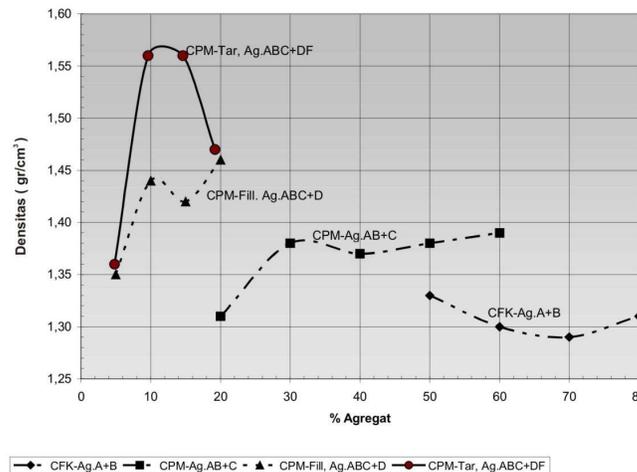
ABC80;D20 mendapatkan *densitas* 1,46 gr/cm³ serta *densitas* target (tercapai *densitas* maksimum campuran) diperoleh *densitas* 1,56 gr/cm³ pada komposisi ABC81, 6D14, 4E4.

5.1. Merencanakan Gradasi

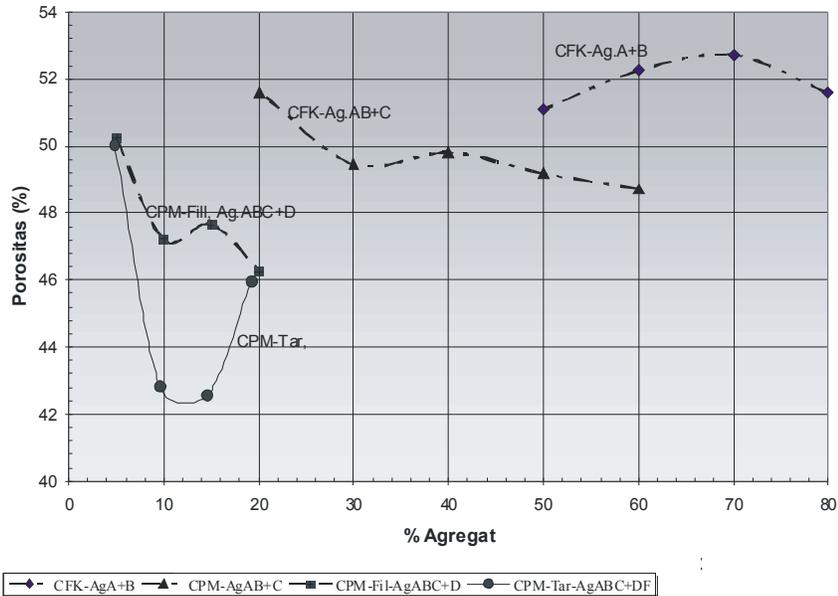
Pemeriksaan menggunakan metode MPK didapat hasil, *densitas* maksimum campuran terjadi pada komposisi campuran: Agregat A = 16,32%; B = 16,32% ; C = 48,96% dan D = 14,4% serta *Filler* = 4%. Hasil analisa saringan untuk komposisi rancangan didapatkan pembagian butiran untuk rancangan gradasi seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil percobaan komposisi agregat

| No. | Komposisi (% - %) | | Density (gr/cc) | SG | Porositas (%) |
|-----|-------------------|----------------------|-----------------|------|---------------|
| | Fraksi | Kode | | | |
| 1 | | A20 – B80 | 1,31 | 2,72 | 51,90 |
| 2 | CFK | A30 – B70 | 1,29 | 2,72 | 52,71 |
| 3 | Ag. A + Ag. B | A40 – B60 | 1,30 | 2,72 | 52,25 |
| 4 | | A50 – B50 | 1,33 | 2,72 | 51,11 |
| 1 | | AB40 – C60 | 1,39 | 2,72 | 48,72 |
| 2 | | AB50 – C50 | 1,38 | 2,72 | 49,18 |
| 3 | CPM | AB60 – C40 | 1,37 | 2,72 | 49,81 |
| 4 | Ag. AB + Ag. C | AB70 – C30 | 1,38 | 2,72 | 49,46 |
| 5 | | AB80 – C20 | 1,31 | 2,72 | 51,62 |
| 1 | | ABC95 – D5 | 1,35 | 2,72 | 50,24 |
| 2 | CPM-FILLER | ABC90 – D10 | 1,44 | 2,72 | 47,21 |
| 3 | Ag. ABC + Ag. D | ABC85 – D15 | 1,42 | 2,72 | 47,66 |
| 4 | | ABC80 – D20 | 1,46 | 2,72 | 46,26 |
| 1 | | ABC91,2 – D4,8 – F4 | 1,36 | 2,72 | 50,02 |
| 2 | CPM-F TARGET | ABC86,4 – D9,6 – F4 | 1,56 | 2,72 | 42,81 |
| 3 | Ag. ABC + Ag.DF | ABC81,6 – D14,4 – F4 | 1,56 | 2,72 | 42,56 |
| 4 | | ABC78,6 – D19,2 – F4 | 1,47 | 2,72 | 45,96 |



Gambar 3. Hubungan densitas dengan % agregat



Gambar 4. Hubungan porositas dengan % agregat

Rancangan gradasi ini oleh penulis sebut sebagai gradasi Laboratorium Jalan Raya - Sebelas Maret (LJR-Semar).

Tabel 5. Rancangan gradasi LJR-Semar

| | | | | | |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Ukuran Saringan | 1/2" | 3/8" | # 4 | # 8 | # 200 |
| Lolos ayakan (%) | 100 | 83,68 | 67,36 | 18,40 | 4 |

Selanjutnya kinerja gradasi LJR-Semar diuji dengan membuat campuran mengacu pada metode Marshall, dan didapat hasil: kadar aspal optimum 4% ,stabilitas: 453, 82 kg, densitas 1,82 gr/cm³, porositas 30,30%, dan flow 2,67mm serta *Marshall Quotient* 73,81, dan dilanjutkan pengujian pada kadar aspal optimum untuk parameter *Unconfine Compressive Strength (UCS)* dan Cantabrian. Hasil uji adalah UCS: 2007,49 kPa dan Cantabrian: 58,71%.

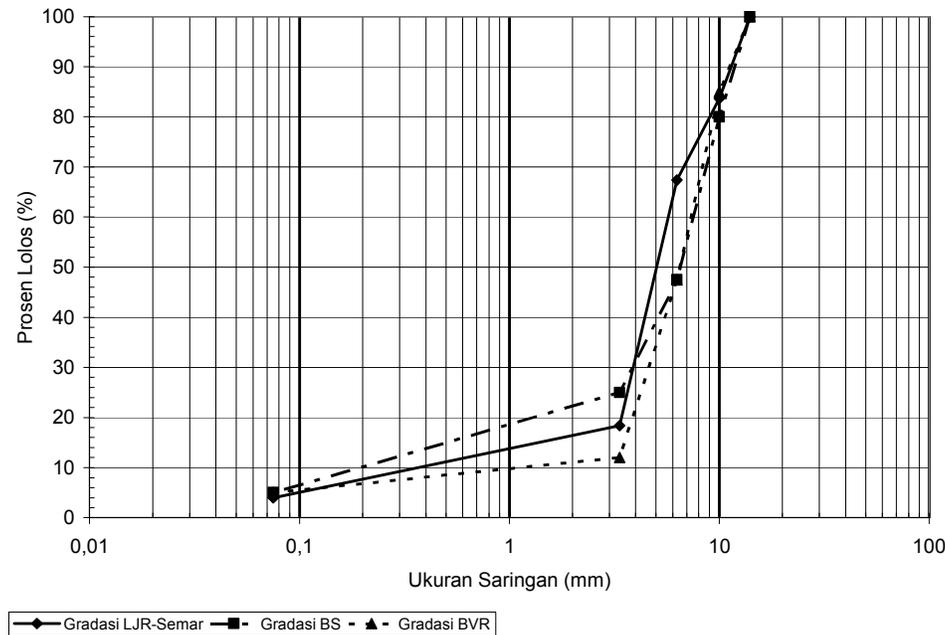
5.2. Pembahasan

Gambar 5 membandingkan gradasi rancangan LJR-Semar dengan jenis gradasi BS dan BVR. Secara keseluruhan gradasi LJR-Semar lebih kasar dibanding dua yang lain, walaupun hasil kombinasi agregat saat densitas optimum menunjukkan bahwa agregat C (halus) menempati prosentase paling besar dibanding dengan agregat A dan B. Disisi lain proporsi ini akan memberikan hasil kebutuhan aspal lebih sedikit. Perbandingan hasil pemeriksaan *volumetrik*, nilai porositas (%) dibandingkan secara berturut LJR-

Semar: 30,30; BVR 32,15; BS 27,40. Porositas LJR-Semar setara dengan gradasi yang lain, sehingga memungkinkan masih terjadinya rongga udara dalam campuran.

Pembandingan nilai stabilitas (kg) yaitu parameter yang menunjukkan kemampuan campuran aspal saat menerima beban lalu lintas, LJR-Semar: 453,82 Kg; BS: 286,26 Kg dan BVR: 267,87 Kg, komposisi LJR-Semar memberikan gambaran bahwa saat campuran menerima beban, partikel-partikel dalam campuran akan semakin rapat jika di dalam campuran terdapat rongga maka rongga-rongga yang ada akan terisi oleh partikel yang lebih kecil. Gradasi rancangan nilai porositasnya cukup tinggi, namun demikian nilai stabilitasnya masih dalam batas spesifikasi Bina Marga (> 450 kg) untuk suatu jenis campuran perkerasan.

Nilai *flow*/kelelahan menunjukkan tingkat kelen-turan atau kekenyalan campuran. Nilai flow (mm) LJR-Semar: 2,67; BS: 2,40 dan BCR: 2,17. *Flow* yang tinggi menunjukkan tingkat kelenturan yang tinggi, sehingga retakan yang timbul karena pembebanan dapat terhindari. Sebaliknya *flow* yang rendah menunjukkan tingkat kelenturan lapisan rendah dan bersifat getas, sehingga mudah mengalami pecah akibat terjadinya pemisahan antar partikel butiran. *Flow* yang terjadi adalah 2,67 berarti masih dalam batas spesifikasi untuk suatu campuran.



Gambar 5 . Perbandingan gradasi LJR-Semar (*rancangan*) dengan BS dan BVR

Unconfined Compressive Strength, kuat tekan merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan pembebanan secara vertikal. Kuat tekan menunjukkan langsung berapa beban yang mampu ditumpu perkerasan di lapangan. Gradasi LJR-Semar mampu menahan beban sebesar 2007,50 kPa BS 2970,78 kPa dan BVR 1671,57 kPa. Nilai kuat tekan gradasi LJR-Semar cukup rendah. Hal ini dimungkinkan karena agregat penyusun didominasi agregat halus yang berakibat komposisi gradasi rancangan hampir seragam sehingga saat menerima beban desak, *interlocking* tidak terbentuk dengan baik dan rongga yang ada tidak dapat terisi dengan material halus.

Pengujian *Cantabrian Test*, kekuatan adhesi dan kohesi sangat berpengaruh pada kekuatan total dari campuran untuk terhindar dari pelepasan partikel akibat dari gesekan roda. Hasil *Cantabrian test* menunjukkan nilai keausan campuran cukup tinggi (58,71%) karena kadar aspal optimum campuran pada gradasi rancangan adalah 4,00% dan juga dilihat dari kombinasi agregat pada gradasi rancangan yang cenderung mendekati gradasi seragam sehingga kekuatan adhesinya kecil.

6. SIMPULAN

Gradasi LJR-Semar tersusun dari campuran Agregat A(9,5-12,7mm): 16,32%; B(4,75-9,5mm): 16,32%; C(2,8-4,75mm): 48,96% dan D(0,5-2,8mm): 14,4% serta *Filler*: 4,00% lebih kasar dibanding BS dan BVR namun mempunyai fraksi halus lebih banyak.

Validasi campuran menggunakan metode *Marshall* diperoleh hasil: kadar aspal optimum 4,00%, stabilitas

marshall 453,82 kg, *flow* 2,67%, porositas: 30,30% dan UCS 2007,50 kPa serta *Cantabrian test* 58,71%.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Takahashi, Shigekhi & Partl, Manfred, 1999. "Improvement of Mix Design For Porous Asphalt". EMPA Uberlandstrasse 129 CH-8600 Dubendorf.
- [2] Cabrera, J.G. & Hamzah, M.O., 1994. "Aggregate Grading Design for Porous Asphalt". In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds), *Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceeding of Symposium, University of Leeds, March 1994*. London.
- [3] Khalid, H. & Perez Jimenez, F.K., 1994. "Performances Assessment of Spanish and British Porous Asphalts. In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds)". *Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceeding of Symposium, University of Leeds, March 1994*. London.
- [4] Setyawan, A & Hassan, K.E., 2002. "Cold mix, cold laid semi-flexible grouted macadams, mix design and properties, In Zoorob, S.E. , Collop, A.C. & Brown, S.E. (eds)". *Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavement*. Nottingham.
- [5] Hardiman, 2004. "Peran Gradasi dan Bahan Pengikat dalam Perbaikan Sifat-Sifat Campuran Porus Aspal". *Symposium VII, Universitas Katolik Parahyangan, September 2004*. Bandung.