



**PENGARUH  
BUTIRAN AGREGAT KASAR TANPA BIDANG PECAH  
TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL  
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE**

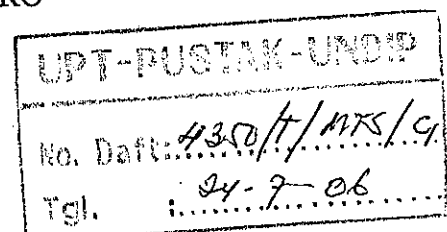
**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

**A. Slamet Priyanto**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2005**





**PENGARUH  
BUTIRAN AGREGAT KASAR TANPA BIDANG PECAH  
TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL  
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE**

**TESIS**

**Disusun oleh**

**A. Slamet Priyanto  
L4A.002.038**

**Disetujui Untuk Dipresentasikan**

**Pembimbing I**

**Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MSc**

**Pembimbing II**

**Ir. Das'at Widodo, MS**

**PENGARUH  
BUTIRAN AGREGAT KASAR TANPA BIDANG PECAH  
TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL  
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE**

Disusun oleh

**A. Slamet Priyanto  
L4A.002.038**

Dipertahankan di Depan Tim Penguji tanggal :  
20 Desember 2005

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Semarang, 20 Desember 2005

Tim Penguji :

Ketua :

**Dr. Ir. Sri Prabandiyani, MSc**

Sekretaris

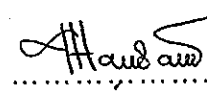
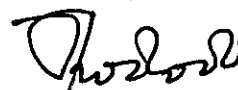


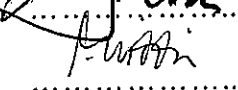
**Ir. Das'at Widodo, MS**

Anggota :

1. **Ir. Muhrozi, MS**

2. **Drs. Bagus Priyatno, ST, MT**

3. **Ir. Siti Hardiyati, MT**

  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....

Universitas Diponegoro

Program Pasca Sarjana

Magister Teknik Sipil

Ketua

**Dr. Ir. Suripin, M.Eng**



## ABSTRAKSI

Spesifikasi campuran beton aspal mengharuskan dipakainya agregat kasar pecah untuk mendapatkan campuran beton aspal yang baik, namun di dalam pelaksanaan sering kali tidak bisa terhindarkan adanya agregat kasar tanpa bidang pecah yang tercampur di dalam campuran aspal. Dengan demikian diperlukan suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah terhadap campuran beton aspal AC-*Wearing Course*.

Penelitian dilakukan dengan jalan membandingkan beberapa campuran beton aspal yang mengandung agregat kasar tanpa bidang pecah terhadap campuran yang mengandung agregat kasar 100% pecah pada kadar aspal yang sama yaitu berdasarkan kadar aspal optimum sebesar 5,5% yang diperoleh dari benda uji yang tidak mengandung agregat kasar tanpa bidang pecah. Hasil pengujian terhadap pemakaian agregat kasar tanpa bidang pecah pada kadar aspal optimum menunjukkan pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah pada pemadatan 2x75 tumbukan (standar Marshall) akan menurunkan nilai struktural campuran beton aspal, namun pada jumlah pemadatan 2x400 tumbukan (kepadatan mutlak), gabungan agregat kasar pecah dengan agregat kasar tanpa bidang pecah menghasilkan nilai struktural campuran beton aspal yang lebih baik dibandingkan campuran yang mengandung agregat kasar 100% pecah maupun yang mengandung agregat kasar 100% tanpa bidang pecah.

Semakin baiknya nilai struktural campuran beton aspal padat sangat dipengaruhi oleh besarnya rongga udara (VIM), semakin kecil nilai VIM akan dihasilkan nilai stabilitas campuran beton aspal padat semakin tinggi. Pada pemadatan 2x75 tumbukan campuran yang mengandung 100% agregat kasar pecah memiliki nilai VIM yang paling minimum, namun pada pemadatan 2x400 tumbukan nilai VIM paling minimum dihasilkan oleh campuran yang mengandung 50% agregat tanpa bidang pecah.

Dengan demikian pemakaian agregat kasar tanpa bidang pecah belum tentu menghasilkan nilai struktural campuran beton aspal yang jelek, namun tergantung pada kandungan jumlah agregat kasar tanpa bidang pecah tersebut dan jenis beton aspal yang dibuat. Untuk jenis ACWC dengan kadar agregat kasar tanpa bidang pecah antara 25% - 75% akan menghasilkan nilai struktural yang lebih baik dibandingkan campuran yang hanya mengandung agregat kasar pecah maupun yang hanya mengandung agregat kasar tanpa bidang pecah.

## ABSTRACT

The asphalt mixture specification require to use crushed aggregate in order to get a good asphalt mixture, but in the execution frequently cannot be obviated by rounded aggregate. Thereby be needed a research to know the effect of rounded aggregate to the Asphalt Concrete Wearing Course.

This research done by way of comparing some mixture containing coarse aggregate of rounded aggregate to mixture containing coarse aggregate 100% crushed stone in the optimum asphalt contain equal to 5,5% what obtained from test object without rounded aggregate. The result to rounded aggregate at optimum asphalt show that rounded aggregate at compaction number of blows 2x75 (standard Marshall) will poorly structural value of concrete mixture pave, but at compact number of blows 2x400 (percentage of refusal density), coarse aggregate combination which obtained by mixing rounded and crushed aggregate in the mixture get better structural value than the 100% crushed or 100% rounded aggregate.

Progressively its goodness structural value of mixture asphalt concrete very influenced by air voids (VIM), smaller of VIM will be yielded by value of high stability. In compact number of blows 2x75, the mixture containing 100% crushed aggregate has a VIM value of very minimum, but in compact number of blows 2x400, minimum VIM is yielded by mixture containing 50% rounded aggregate.

Thereby, the usage of rounded aggregate in the asphalt mixture is not exactly to get a bad mixture, depend on the rounded aggregate contain and the type of the mixture. The ACWC with contain 25% - 75% of rounded aggregate obtain a better structural value than contain 100% crushed aggregate or contain 100% rounded aggregate.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah karena atas kasih-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis dalam rangka memenuhi persyaratan studi pada Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Eko Budiharjo, MSc, selaku Rektor Universitas Diponegoro.
2. Bapak Dr.Ir. Suripin, M Eng, selaku ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.
3. Bapak Dr.Ir. Bambang Riyanto, DEA, selaku sekretaris Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.
4. Ibu Dr.Ir. Sri Prabandiyani, Msc, selaku pembimbing I Tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan Tesis.
5. Bapak Ir. Das'at Widodo, MS, selaku pembimbing II Tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan Tesis.
6. Para Pimpinan dan Staf Laboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang, yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian ini.
7. Istri dan anak-anak tercinta yang telah memberikan bantuan moril demi keberhasilan penelitian ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam Tesis ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi sempurnanya Tesis ini.

Akhirnya penulis mendedikasikan Tesis ini untuk semua insan ilmu pengetahuan, semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan kesejahteraan manusia.

Semarang, Desember 2005

A.Slamet Priyanto

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAKSI.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Manfaat Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Hipotesis .....	4
1.6. Sistematika Penyusunan Penulisan Tesis .....	5
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Campuran Aspal Beton .....	6
2.2. Agregat .....	6
2.3. Bahan Pengikat .....	7
2.4. Kualitas Campuran Aspal Beton .....	9
2.5. Kualitas Bahan Pokok .....	9
2.6. Pemilihan Agregat .....	10
2.6.1. Susunan Butiran Agregat .....	10
2.6.2. Kekerasan .....	12
2.6.3. Ketahanan Terhadap Pelapukan .....	13
2.6.4. Daya Pelekatan Terhadap Aspal .....	13
2.6.5. Bentuk Butiran .....	14
2.6.6. Bentuk Permukaan Butiran .....	15
2.6.7. Kebersihan Agregat .....	16
2.7. Rumus-Rumus Berat Jenis dan Volume Rongga .....	17

2.8. Penelitian Sebelumnya Yang Pernah Dilakukan .....	23
 BAB III : METODOLOGI	
3.1. Pelaksanaan Penelitian .....	24
3.2. Persyaratan Agregat .....	27
3.3. Persyaratan Aspal .....	28
3.4. Persyaratan Campuran Aspal .....	29
3.5. Peralatan Penelitian .....	30
3.6. Persiapan Benda Uji .....	33
3.7. Persiapan Pengujian .....	37
3.8. Cara Pengujian .....	37
3.9. Penentuan Kadar Aspal Optimum .....	38
3.10. Perhitungan Hasil Pengujian .....	39
3.11. Hasil Pengujian .....	41
3.12. Analisa dan Kesimpulan .....	42
 BAB IV : HASIL PENELITIAN	
4.1. Bahan Campuran .....	43
4.1.1. Sumber Material .....	43
4.1.2. Pemeriksaan Bahan .....	43
4.1.3. Komposisi Campuran Agregat .....	46
4.1.4. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat .....	48
4.2. Hasil Pengujian Campuran Aspal.....	49
4.2.1. Pengujian Tahap Ke-1 .....	49
4.2.2. Pengujian Tahap Ke-2.....	53
4.2.3. Pengujian Tahap ke-3 .....	56
4.2.4. Hasil Ekstraksi Benda Uji .....	56
4.3. Pembahasan .....	60
4.3.1. Hubungan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Berat Jenis Dan Penyerapan .....	60
4.3.2. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Berat Jenis Efektif (Gse) Agregat Campuran Dan Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm).....	62

4.3.3. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Volume Campuran (Vmb) Dan Kerapatan Campuran (Gmb), Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan .....	65
4.3.4. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Penyerapan Aspal Dan Tebal Selimut Aspal .....	67
4.3.5. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Vsb, Vmb dan VMA, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan .....	69
4.3.6. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Gmm, Vmm, Vmb dan VIM, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan ....	72
4.3.7. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap VFA dan Tebal Selimut Aspal, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan.....	76
4.3.8. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Stabilitas Marshall, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan.....	80
4.3.9. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Kelelehan Plastis, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan .....	83
4.3.10. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Hasil Bagi Marshall, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan.....	85
4.3.11. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Stabilitas Marshall Sisa, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan.....	87
4.3.12. Hubungan Kerapatan Dan Volume Rongga Dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> , Terhadap Usaha Pemadatan .....	88
4.3.13. Hubungan Stabilitas Marshall Dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> , Terhadap Usaha Pemadatan .....	93
4.3.14. Pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> Terhadap Stabilitas Marshall Sisa, Pada Pemadatan 2x75 Tumbukan Dan 2x400 Tumbukan.....	97
4.4. Evaluasi Hasil Laboratorium Terhadap Spesifikasi.....	99

## BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan .....	103
5.2. Saran .....	105
DAFTAR PUSTAKA .....	106
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Gradasi Laston Lapis Aus AC-Wearing Course .....	11
Tabel 2.2. Gradasi Daerah Larangan Untuk AC-Wearing Course .....	11
Tabel 2.3. Faktor Luas Permukaan .....	16
Tabel 3.1. Persyaratan Mutu Agregat .....	28
Tabel 3.2. Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70.....	29
Tabel 3.3. Persyaratan Campuran Laston AC-Wearing Course.....	30
Tabel 3.4. Target Gradasi Agregat Campuran .....	33
Tabel 3.5. Jumlah Benda Uji Marshall Yang Diperlukan.....	35
Tabel 3.6. Angka Korelasi Stabilitas.....	40
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.....	44
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus dan Filler .....	44
Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Aspal .....	44
Tabel 4.4. Gradasi Agregat Campuran.....	46
Tabel 4.5. Jumlah Pemakaian Fraksi Agregat .....	47
Tabel 4.6. Jumlah Pemakaian Agregat Per <i>Mould</i> .....	48
Tabel 4.7. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi Agregat .....	49
Tabel 4.8. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Campuran dan Penyerapan Aspal .....	49
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum Tahap ke-1 .....	51
Tabel 4.10. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Tebal Selimut Aspal dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	53
Tabel 4.11. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Kerapatan Kering ( <i>Bulk Density</i> ) Campuran Aspal dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	53
Tabel 4.12. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal (Gmm).....	54
Tabel 4.13. Rongga di antara Mineral Agregat (VMA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	54
Tabel 4.14. Rongga Udara di dalam Campuran Beton Aspal Padat (VIM) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	54

Tabel 4.15. Rongga di antara Butir Agregat Yang Terisi Aspal (VFA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	54
Tabel 4.16. Stabilitas Marshall dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	55
Tabel 4.17. Kelelehan Plastis dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	55
Tabel 4.18. Hasil Bagi Marshall ( <i>Marshall Quotient</i> ) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	55
Tabel 4.19. Stabilitas Marshall Sisa (RS) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	55
Tabel 4.20. Hasil Pengujian Kepadatan Membal ( <i>Refusal</i> ) dengan jumlah pemadatan 2x400 tumbukan.....	56
Tabel 4.21. Gradasi Agregat Hasil Ekstraksi Campuran Aspal Panas AC-WC Setelah Dipadatkan 400 Tumbukan Per Bidang .....	57
Tabel 4.22. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	60
Tabel 4.23. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Campuran .....	63
Tabel 4.24. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap Berat jenis maksimum campuran (Gmm).....	63
Tabel 4.25. Hubungan Volume <i>Bulk</i> Campuran (Vmb) dengan Kerapatan (Gmb) terhadap pemakaian variasi agregat kasar <i>rounded</i> pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	66
Tabel 4.26. Penyerapan Aspal .....	68
Tabel 4.27. Tebal Selimut Aspal .....	68
Tabel 4.28. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi agregat kasar terhadap Vsb dan Vmb, pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	69
Tabel 4.29. Hubungan antara Volume <i>Bulk</i> Campuran (Vmb) dengan persentase Volume Kering Agregat (Vsb) dan persentase Rongga di antara Mineral Agregat (VMA) akibat pengaruh variasi agregat kasar <i>rounded</i> pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	71
Tabel 4.30. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm) dan Volume Tanpa Pori Campuran Aspal (Vmm).....	73
Tabel 4.31. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap Vmb dan Vmm pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	74

Tabel 4.32. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap Vmb, Vmm dan VIM pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	75
Tabel 4.33. Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap VMA dan VIM pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	76
Tabel 4.34. Rongga di antara Butir Agregat Yang Terisi Aspal (VFA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	77
Tabel 4.35. Pengaruh agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : Volume total aspal di dalam campuran beton aspal padat "Va" pada pemadatan 2x75 tumbukan .....	79
Tabel 4.36. Pengaruh agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : Volume aspal yang terserap agregat (Vab) dan Volume rongga di antara agregat yang terisi aspal (VFA) pada pemadatan 2x75 tumbukan.....	79
Tabel 4.37. Pengaruh agregat kasar <i>rounded</i> terhadap Kadar aspal efektif (Pbe) dan Tebal selimut aspal (Ta) pada pemadatan 2x75 tumbukan.....	79
Tabel 4.38. Stabilitas Marshall dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	80
Tabel 4.39. Kelelahan Plastis dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	84
Tabel 4.40. Hasil Bagi Marshall ( <i>Marshall Quotient</i> ) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.....	85
Tabel 4.41. Stabilitas Marshall Sisa (RS) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .....	87
Tabel 4.42. Hubungan antara Kerapatan dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	89
Tabel 4.43. Hubungan antara VMA dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	90
Tabel 4.44. Hubungan antara VIM dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	90
Tabel 4.45. Hubungan antara VFA dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	90
Tabel 4.46. Hubungan antara Stabilitas Marshall Kering dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	94

Tabel 4.47. Hubungan antara Stabilitas Marshall Rendaman dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.....	94
Tabel 4.48. Hubungan antara Kelelehan Plastis kering dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan .....	95
Tabel 4.49. Hubungan antara kelelehan plastis rendaman dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.....	95
Tabel 4.50. Hubungan antara Stabilitas Marshall Sisa dengan Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.....	98
Tabel 4.51. Hasil Pengujian Standar Marshall (jumlah pemadatan 2x75 tumbukan)	99
Tabel 4.52. Hasil Pengujian Kepadatan Mutlak (jumlah pemadatan 2x400 tumbukan).....	100
Tabel 4.53. Peringkat Nilai Struktural Campuran Beton Aspal (pemadatan 2x400 tumbukan).....	100

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Bentuk-bentuk agregat : (a) Bentuk agregat kasar pecah, (b) Bentuk agregat kasar <i>rounded</i> .....	4
Gambar 2.1. Grafik Batasan Gradasi AC-Wearing Course.....	12
Gambar 2.2. Skematis berbagai jenis volume beton aspal .....	18
Gambar 3.1. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian .....	24
Gambar 3.2. Grafik Target Gradasi Agregat Campuran .....	34
Gambar 3.3. Diagram Batang Menampilkan Data Perencanaan dan Pemilihan Kadar Aspal Rencana .....	39
Gambar 4.1. Grafik Gradasi Agregat Campuran AC-Wearing Course .....	47
Gambar 4.2. Hubungan Kadar Aspal dengan Sifat-Sifat Campuran Menggunakan Agregat Kasar 100% Pecah Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).....	52
Gambar 4.3. Grafik selisih gradasi agregat campuran yang tertahan saringan, antara gradasi campuran semula terhadap campuran setelah dibebani 400 tumbukan per bidang .....	57
Gambar 4.4. Grafik gradasi agregat campuran hasil ekstraksi .....	59
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> dengan : (a) Absorpsi agregat kasar dan (b) Berat jenis agregat kasar.....	60
Gambar 4.6. Skematis bagian dari butir agregat .....	61
Gambar 4.7. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Berat jenis agregat campuran dan (b) Berat jenis maksimum campuran (Gmm) .....	63
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Volume <i>bulk</i> campuran beton aspal padat (Vmb). (b) Kerapatan kering ( <i>bulk density</i> ) campuran beton aspal padat.....	66
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Penyerapan aspal dan (b) Tebal selimut aspal. ....	68
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Volume kering agregat (Vsb) dalam kubikasi. (b) Volume kering campuran beton aspal padat (Vmb) dalam kubikasi.....	70

Gambar 4.11. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) dalam persen. (b) Volume rongga di antara mineral agregat (VMA).....	71
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Berat jenis maksimum campuran (Gmm). (b) Volume campuran tanpa pori ( $V_{mm}$ ). .....	73
Gambar 4.13. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap : (a) Volume campuran tanpa pori ( $V_{mm}$ ). (b) Rongga udara yang tersisa di dalam campuran beton aspal padat (VIM) .....	75
Gambar 4.14. Grafik hubungan antara variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap Rongga di antara agregat yang terisi aspal (VFA) .....	77
Gambar 4.15. Grafik pengaruh Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap : (a) Nilai stabilitas kering. (b) Nilai stabilitas rendaman.....	80
Gambar 4.16. Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap : (a) Nilai kelelahan plastis kering. (b) Nilai kelelahan plastis rendaman.....	84
Gambar 4.17. Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar <i>Rounded</i> terhadap : (a) Nilai hasil bagi Marshall, MQ kering. (b) Nilai hasil bagi Marshall, MQ rendaman .....	86
Gambar 4.18. Grafik pengaruh variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap Stabilitas Marshall Sisa .....	87
Gambar 4.19. Pengaruh penambahan pemadatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan terhadap variasi agregat kasar <i>rounded</i> dengan Kerapatan dan Volume rongga campuran beton aspal padat.	91
Gambar 4.20. Pengaruh penambahan pemadatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan terhadap variasi agregat kasar <i>rounded</i> dengan Stabilitas dan Kelelahan Plastis .....	96
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara Stabilitas Marshall Sisa dengan variasi agregat kasar <i>rounded</i> terhadap jumlah tumbukan pemadatan.....	98

## DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

### Lambang dan Notasi

A	[ft <sup>2</sup> /lb]	luas permukaan agregat
Ba	[gram]	berat contoh di dalam air
Bj	[gram]	berat kering permukaan jenuh agregat
Bk	[gram]	berat kering agregat
CA	[ % ]	agregat kasar
DP	[ - ]	dust proportion
FA	[ % ]	agregat halus
FF	[ % ]	bahan pengisi
Gb	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis aspal
Gmb	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis kering campuran beton aspal padat
Gmm	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol
Gsa	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis semu agregat
Gsb	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis kering agregat
Gse	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis efektif agregat
KAO	[ % ]	kadar aspal optimum
Kp	[ lbs ]	kalibrasi proving ring
Kv	[ - ]	korelasi isi benda uji
MQ	[kg/mm]	hasil bagi Marshall
Pa	[ % ]	kadar agregat
Pb	[ % ]	kadar aspal
Pba	[ % ]	penyerapan aspal
Pbe	[ % ]	kadar aspal efektif
RS	[ % ]	stabilitas sisa
S	[ - ]	pembacaan arloji tekan alat Marshall
Ssd	[gr/cm <sup>3</sup> ]	berat jenis jenuh agregat
Ta	[ μm ]	tebal selimut aspal
VFA	[ % ]	rongga di antara agregat yang terisi aspal
VIM	[ % ]	rongga udara yang tersisa di dalam campuran beton aspal padat
VMA	[ % ]	rongga diantara agregat

Va	[ cm <sup>3</sup> ]	volume aspal di dalam campuran beton aspal padat
Vab	[ cm <sup>3</sup> ]	volume aspal yang terserap kedalam agregat di dalam campuran beton aspal padat
Vmb	[ cm <sup>3</sup> ]	volume kering campuran beton aspal padat
Vmm	[ cm <sup>3</sup> ]	volume tanpa pori campuran beton aspal padat
Vsb	[ cm <sup>3</sup> ]	volume kering agregat di dalam campuran beton aspal padat
Vse	[ cm <sup>3</sup> ]	volume efektif dari agregat
Wmb	[gram]	berat kering campuran beton aspal padat
Wsb	[gram]	berat kering agregat di dalam campuran beton aspal padat

#### Singkatan

<b>AC</b>	Asphalt Cement
<b>AC-WC</b>	Asphalt Concrete Wearing Course
<b>CA</b>	Coarse aggregate
<b>DP</b>	Dust proportion
<b>FA</b>	Fine aggregate
<b>FF</b>	Fine filler
<b>KAO</b>	Kadar aspal optimum
<b>MQ</b>	Marshall quotient
<b>P</b>	Pecah
<b>Pen</b>	penetrasi
<b>R</b>	Rounded
<b>RS</b>	Remained stability
<b>SE</b>	Sand Equivalent
<b>VIM</b>	Voids in mix
<b>VMA</b>	Voids in mineral aggregates
<b>VFA</b>	Voids filled with asphalt

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Sarana dan prasarana lalu lintas adalah sangat penting dalam rangka mendukung perkembangan perekonomian nasional, dengan sarana dan prasarana lalu lintas yang memadai, maka arus jasa dan barang akan berlangsung dengan lancar, aman dan efisien.

Jalan raya beserta kelengkapannya adalah merupakan prasarana transportasi moda darat yang mutlak diperlukan untuk kelancaran arus jasa dan barang yang melewati darat. Dengan lancarnya arus jasa dan barang, maka akan mempengaruhi perkembangan dan pola hidup masyarakat suatu wilayah.

Salah satu komponen jalan raya yang mutlak diperlukan adalah lapis perkerasan jalan. Lapis perkerasan jalan ini harus mempunyai kekuatan yang memadai sehingga mampu menerima beban lalu lintas yang harus diterima oleh jalan.

Kekuatan lapis perkerasan jalan raya sangat tergantung pada kekuatan masing-masing konstruksi lapis perkerasan yang ditempatkan pada jalan tersebut dan jenis lalu lintas yang direncanakan akan lewat.

Di dalam konstruksi perkerasan jalan raya dibedakan menjadi dua jenis konstruksi, yaitu *flexible pavement* dan *rigid pavement*. *Flexible pavement* merupakan lapis perkerasan jalan raya yang mengandalkan kelenturannya, sedangkan *rigid pavement* merupakan konstruksi perkerasan jalan raya yang mengandalkan kekakuan strukturnya dalam menerima beban yang ada.

Menurut *Sudarsono (1985)*, konstruksi perkerasan aspal panas termasuk *flexible pavement* yang merupakan konstruksi lapis perkerasan yang terdiri dari bahan berbutir dan bahan pengikat aspal beton. Bahan berbutir ini akan bekerja sebagai kerangka atau tulangan yang memikul bagian terbesar dari beban atau kekuatan yang bekerja pada konstruksi tersebut.

Menurut "*Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*" Departemen Pekerjaan Umum (1987), *Spesifikasi Bina Marga (1999)*, *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)* maupun *Spesifikasi PT. Jasa Marga (2002)*, disyaratkan bahwa agregat kasar harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari lempung atau bahan lain yang mengganggu.

Persyaratan tersebut di atas dimaksudkan apabila campuran aspal beton sudah digelar dan dipadatkan, maka butir-butir harus cukup kuat untuk menahan muatan dan pukulan-pukulan roda, artinya butir-butir tidak boleh pecah. Apabila butir-butir batu pecah maka akan mengacaukan gradasi, disamping itu bidang pecahan baru merupakan titik-titik yang lemah, karena bahan pengikat aspalnya akan berkurang bahkan tidak ada aspalnya pada bidang pecahan baru tersebut, oleh karena itu harus diusahakan agar butir-butir batuan berbentuk kubus (mendekati bentuk dadu) dan tidak pipih (*Sudarsono, 1976*).

Permukaan butir harus cukup kasar dan bersih dari bahan yang mengganggu, kondisi ini hanya dapat dicapai apabila permukaan butir tersebut merupakan bidang-bidang pecah baru hasil dari mesin pemecah batu, sedangkan kerikil-kerikil sungai kurang baik karena umumnya permukaannya butirnya licin (akibat aliran air dan cuaca) dan dikotori lumut dan kadang-kadang lumpur (*Sudarsono, 1976 dan 1985*).

Dalam kenyataan praktek di lapangan, persyaratan pemakaian batu pecah seperti tersebut di atas kadang kala tidak bisa dipenuhi 100%, namun agregat kasar yang dipakai terkadang mengandung butiran yang tidak mempunyai bidang pecah (*rounded*), kondisi ini disebabkan produksi mesin pemecah batu (*stone crusher*) menggunakan batuan induk yang masih tercampur kerikil, sehingga batuan yang tidak memiliki bidang pecah yang berukuran lebih kecil dari *maximum size* yang dikehendaki akan lolos dari gigi pemotong batu (*jaw stone crusher*), dengan demikian agregat berbutir hasil produksi *stone crusher* yang dipakai untuk campuran aspal beton sebagian akan mengandung agregat yang tidak memiliki bidang pecah (*rounded*).

Bentuk agregat *rounded* kurang memberikan ikatan satu sama lainnya, berhubung pertemuan antara butiran hanya merupakan titik singgung saja, dan umumnya butiran *rounded* mempunyai permukaan yang licin, sehingga mudah bergerak (*Ismanto, 2001*).

Mengingat begitu pentingnya masalah gradasi dan bentuk butiran agregat yang akan dipakai dalam campuran aspal beton, maka berdasarkan fenomena tersebut di atas perlu adanya kajian mengenai "PENGARUH BUTIRAN AGREGAT KASAR TANPA BIDANG PECAH TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE".

## 1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) mempengaruhi kualitas Laston Lapis Aus (*AC Wearing Course*).

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap karakteristik Marshall campuran *AC Wearing Course* apabila dibandingkan dengan bahan material standar agregat kasar pecah. Karakteristik campuran yang akan diperiksa adalah meliputi : Berat jenis campuran kering (*Bulk density*), *VMA (Voids in mineral aggregates)*, *VIM (Voids in mix)*, *VFA (Voids filled with asphalt)*, Stabilitas Marshall, Kelelehan plastis (*Flow*), Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient, MQ*) dan Stabilitas Sisa (*Remained stability, RS*).

### 1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan dan pertimbangan pembuatan campuran aspal panas, khususnya yang bergradasi menerus.

### 1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini untuk mengkaji seberapa besar pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) terhadap campuran aspal, dengan batasan masalah sebagai berikut :

- 1) Penelitian hanya terbatas pada pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) terhadap sifat-sifat *Marshall* dan *Durabilitas* campuran *AC-WC*.
- 2) Bahan yang digunakan dalam penelitian terbatas pada :
  - a) Aspal keras (*asphalt cement*) penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina.
  - b) Sumber material batuan diambil dari Kali Kuto Kabupaten Kendal, *stock pile* dan produksi *stone crusher* PT. Adhi Karya di Mangkang.
  - c) Agregat kasar *rounded* yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang tertahan saringan No. 4.
  - d) Agregat halus memakai Abu Batu dan pasir Muntilan. Adapun pemakaian pasir dibatasi maksimum sebesar 15% sesuai *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)*.
  - e) Digunakan agregat kasar pecah dan agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) dengan variasi terhadap total agregat kasar sebagai berikut :
 

100% Agregat kasar pecah	+	0% Agregat kasar <i>rounded</i>
75% Agregat kasar pecah	+	25% Agregat kasar <i>rounded</i>
50% Agregat kasar pecah	+	50% Agregat kasar <i>rounded</i>
25% Agregat kasar pecah	+	75% Agregat kasar <i>rounded</i>
0% Agregat kasar pecah	+	100% Agregat kasar <i>rounded</i>

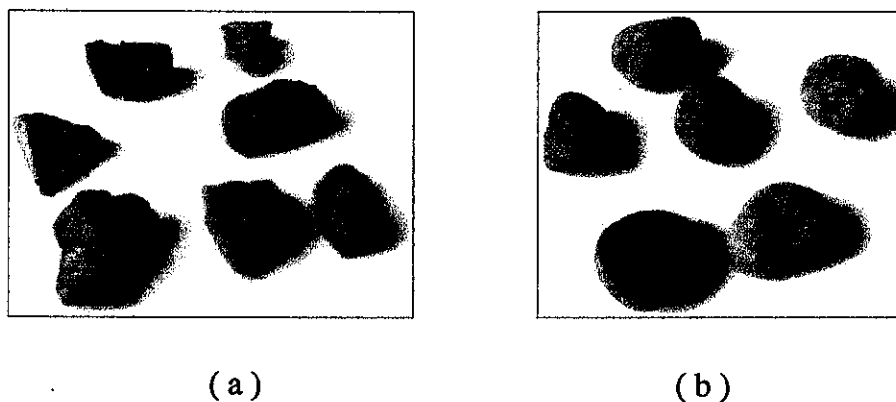
Untuk selanjutnya agregat kasar pecah disingkat P, sedangkan agregat kasar *rounded* disingkat R.

- f) Perbandingan pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap agregat kasar pecah didasarkan pada kadar aspal yang sama, yaitu pada kadar aspal optimum menggunakan campuran aspal yang mengandung 100% agregat kasar pecah pada kondisi 75 tumbukan per bidang.

### 1.5. Hipotesis

Bentuk agregat kasar pecah yang mempunyai banyak bidang sudut yang tajam dan permukaannya yang kasar (Gambar 1.1a) akan memberikan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat yang sangat kuat sehingga agregat di dalam campuran beton aspal yang menggunakan gradasi menerus (rapat) akan sulit bergeser untuk menyesuaikan kedudukannya di dalam campuran pada saat menerima beban repetisi lalu lintas. Sifat *interlocking* agregat pecah yang demikian akan menghasilkan campuran beton aspal dengan stabilitas yang tinggi dan fleksibilitas yang cukup rendah. Sebaliknya agregat kasar *rounded* karena tidak mempunyai bidang sudut yang tajam (Gambar 1.1b) mempunyai sifat *interlocking* yang rendah sehingga mudah bergeser pada saat menerima beban repetisi lalu lintas. Sifat *interlocking* agregat kasar *rounded* yang demikian akan menghasilkan campuran beton aspal yang memiliki stabilitas rendah namun memiliki fleksibilitas tinggi.

Dengan menggabungkan antara agregat kasar pecah dengan agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal bergradasi menerus, kelemahan campuran beton aspal yang memakai agregat kasar pecah maupun yang memakai agregat kasar *rounded* kemungkinan besar dapat diperbaiki, sehingga akan diperoleh campuran yang memiliki stabilitas cukup tinggi dengan fleksibilitas yang mencukupi untuk mengakomodasi beban lalu lintas berat.



Gambar 1.1 : Bentuk- bentuk agregat : ( a ) Bentuk agregat kasar pecah, ( b ) Bentuk agregat kasar *rounded*.

## 1.6. Sistematika Penyusunan Penulisan Tesis

Bab I pendahuluan, berisi latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesa dan sistematika penyusunan penulisan tesis.

Bab II tinjauan pustaka, berisi uraian mengenai campuran beton aspal, bahan agregat, bahan pengikat aspal, rumus-rumus yang digunakan, dan penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan.

Bab III metodologi, berisi urutan pelaksanaan penelitian, persyaratan agregat dan aspal, persyaratan campuran aspal, peralatan yang digunakan didalam penelitian, persiapan benda uji dan cara pengujian campuran aspal, cara perhitungan hasil pengujian Marshall, dan uraian analisa yang akan dilakukan terhadap hasil pengujian.

Bab IV hasil penelitian dan pembahasan, berisi uraian data-data hasil pengujian bahan agregat dan aspal, penentuan kadar aspal optimum (KAO) yang dipakai dasar pengujian pengaruh agregat kasar *rounded*, data hasil pengujian campuran beton aspal, analisa terhadap pengaruh variasi agregat kasar *rounded* terhadap karakteristik campuran beton aspal *AC-Wearing Course* pada saat benda uji dipadatkan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Bab V kesimpulan dan saran, berisi kesimpulan dari hasil pengujian pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap campuran beton aspal *AC-Wearing Course*, rekomendasi pemakaian agregat kasar *rounded* yang diperbolehkan di dalam campuran beton aspal *AC-Wearing Course*, serta saran untuk penelitian lebih lanjut akibat pengaruh agregat kasar *rounded*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Campuran Aspal Beton

Menurut *Sudarsono, (1976)*, campuran aspal adalah bahan perkerasan jalan yang terdiri dari bahan agregat berbutir seperti batu pecah, pasir dan sebagainya yang diberi bahan pengikat.

### 2.2. Agregat

Agregat adalah sekumpulan batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan (*Departemen Pekerjaan Umum, 1987*), sedangkan *Ismanto, (2001)*, mendefinisikan agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan, antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi, abu (debu) agregat.

Agregat merupakan bahan utama perkerasan yang langsung menerima muatan dan pukulan-pukulan roda kendaraan, begitu pula dalam pelaksanaan perkerasan dimana digunakan bahan pengikat aspal, sangat dipengaruhi oleh mutu agregat (*Sudarsono, 1976, Sukirman, 1992, dan Ismanto, 2001*).

Agregat untuk bahan perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat hasil produksi alam, agregat yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat hasil buatan, sebagai berikut :

#### 1) Agregat produksi alam

Kerikil dan pasir merupakan agregat yang sering dijumpai dan merupakan agregat produksi alam yang khas. Kerikil merupakan agregat yang berukuran  $> 6,35$  mm, sedangkan pasir berukuran antara  $0,007$  mm –  $6,35$  mm, dan ukuran lanau (*silt* atau *fine sand*) serta lempung  $< 0,007$  mm. bahan-bahan agregat tersebut banyak dijumpai berupa endapan kerikil bercampur pasir dan besar kemungkinannya bercampur lanau/lempung dalam perbandingan tidak teratur. Pasir laut pada umumnya *uniform/seragam*, sedangkan pasir sungai mengandung sejumlah kerikil, lempung dan lanau.

2) Agregat yang mengalami proses pengolahan

Untuk lebih meningkatkan mutu agregat, baik yang menyangkut ukuran, gradasi butiran maupun bentuk serta susunan permukaan kasar dari bulat menjadi bersudut, biasanya agregat diolah dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*).

3) Agregat buatan (*artificial/synthetic aggregate*).

Agregat ini sebagai hasil perubahan fisik maupun kimia yang merupakan hasil tambahan pada proses pemurnian biji-biji besi logam. Terak dapur tinggi merupakan hasil tambahan pada peleburan besi dari dapur temperatur tinggi, dimana terak adalah bahan logam (*non methalic*) yang mengapung pada besi cair dan disadap pada waktu-waktu tertentu.

Berdasarkan besarnya partikel-partikel agregat, maka agregat dibedakan atas :

1) Agregat kasar

Menurut *Manual Pemeriksaan Bahan Jalan PB-0202-76* dan *AASTHO T-85-74*, agregat kasar adalah bahan yang tertahan saringan No.4 ( $> 4,76$  mm ).

2) Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.4 ( $< 4,76$  mm ).

3) Bahan pengisi (*filler*).

Bahan pengisi adalah bahan berbutir halus yang lolos saringan No. 50 (0,28 mm) sebanyak paling sedikit 95% dan bila diuji dengan cara pencucian sesuai dengan SNI 03-4142-1996 harus minimum 75% (dianjurkan 85%) lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

### 2.3. Bahan Pengikat

Aspal minyak yang digunakan adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil* (Sukirman, 2003), pemakaian jenis aspal minyak ini dimaksudkan untuk mendapatkan lekatan yang baik antara aspal dengan agregat butiran, karena kandungan *parafin* pada aspal dengan berat molekul tinggi akan membentuk *hablin-hablin* yang dapat mempengaruhi tingkat kelekatan aspal terhadap batuan. Oleh karena itu untuk memperoleh

aspal dengan mutu baik dipilih bahan baku minyak bumi dengan kandungan kadar parafin yang rendah (Ismanto, 2001).

Aspal merupakan material yang termoplastis yaitu melunak dan menjadi cair jika dipanaskan dan kental kembali menjadi padat jika didinginkan kembali. Aspal merupakan campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, bahan bitumen berwarna coklat kehitaman mempunyai sifat fisik keras hingga cair, mempunyai sifat larut dalam CS<sub>2</sub> ataupun CCL<sub>4</sub> dengan sempurna dan mempunyai sifat berlemak serta tidak larut dalam air. Bitumen secara kimiawi terdiri dari gugusan *aromat*, *naphthen* dan *alkan* sebagai komponen terpenting dan secara kimia fisika merupakan campuran koloid, dimana butir-butir yang merupakan komponen yang padat (*asphaltene*) berada dalam fase cair yang disebut *malten* (Ismanto, 2001).

*Malten* merupakan cairan kental yang terdiri dari *resins* dan *oils* yang larut dalam *heptane*. *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan. Sedangkan *oils* yang berwarna lebih muda merupakan media dari *asphaltene* dan *resins*, proporsi dari *asphaltene*, *resins*, dan *oils* berbeda-beda tergantung dari banyak faktor seperti kemungkinan beroksidasi, proses pembuatannya dan ketebalan aspal dalam campuran (Sukirman, 1992).

Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan sering disebut aspal keras atau aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa dan garam.

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal. Pada waktu proses pelaksanaan terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas menjadi tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Jadi selama masa pelayanan jalan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat, semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. Dengan demikian akibat pemanasan, penuaan dan kondisi lingkungan, sifat aspal akan berubah menjadi kaku, rapuh dan akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang selama masa pelayanan jalan (Sukirman, 1992, Sjahdanulirwan dan Tatang, 1997).

Aspal semen pada temperatur ruang (25-30)<sup>o</sup>C akan berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25<sup>o</sup>C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya, di Indonesia aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu :

AC pen 40/50	AC pen 80/90	AC pen 200/300
AC pen 60/70	AC pen 120/150	

#### 2.4. Kualitas Campuran Aspal Beton

Kualitas campuran aspal beton tergantung dari :

- a) Kualitas bahan pokok yang terdiri dari batu-batuan / agregat yang dipakai dan bahan pengikat aspal.
- b) Gradasi (susunan butir), bentuk butir, kekerasan agregat dan keadaan permukaan butir.
- c) Perbandingan campuran antara aspal dan agregat batuan (kandungan aspal atau *asphalt content*).
- d) Homogennya adukan (kesempurnaan adukan).

#### 2.5. Kualitas Bahan Pokok

- a) Kualitas batuan

Butir-butir batuan merupakan bahan utama yang langsung menerima muatan dan pukulan-pukulan roda kendaraan, maka kualitas aslinya harus baik dan cukup kuat menerima beban kendaraan dan tidak porus (keropos).

- b) Kualitas aspal

Aspal harus mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik. Untuk daerah dengan suhu udara tahunan rata-rata lebih besar dari 24<sup>o</sup>C, maka aspal yang digunakan harus mempunyai penetrasi 40 (AC-40) atau penetrasi 60 (AC-20). Khusus untuk daerah dengan suhu udara tahunan rata-rata kurang dari 24<sup>o</sup>C dapat digunakan aspal yang mempunyai penetrasi 80 (AC-10). (*Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Departemen Pekerjaan Umum, 1999*).

## 2.6. Pemilihan Agregat

Dapat atau tidaknya agregat yang akan digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan, ditentukan berdasarkan hasil dari pemeriksaan laboratorium sebagai berikut :

- a) Gradasi (susunan butiran agregat)
- b) Kekerasan (keausan)
- c) Ketahanan terhadap pelapukan (*soundness*)
- d) Daya pelekatan terhadap aspal
- e) Bentuk butiran (*shape*)
- f) Bentuk permukaan butiran
- g) Daya penyerapan (*absorption*)
- h) Kebersihan agregat
- i) Berat jenis (*specific gravity*)

### 2.6.1. Gradasi (Susunan Butiran Agregat)

Susunan butiran agregat sangat penting dan sangat menentukan kualitas campuran aspal. Menurut *Robert D. Kerbs* dan *Richard D. Walker*, (1971) gradasi agregat dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

- a) Agregat bergradasi rapat (*dense graded*)

Merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi berimbang, agregat dengan gradasi rapat akan memberikan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, cukup kedap air dan berat volume besar.

- b) Agregat bergradasi seragam (*single size / uniform graded*)

Merupakan gradasi yang mempunyai ukuran butir hampir sama atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas kurang, tidak kedap air (permeabilitas tinggi) dan berat volume kecil.

- c) Agregat bergradasi buruk / jelek (*poorly graded*)

Merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua kategori di atas. Agregat bergradasi buruk umumnya digunakan untuk lapisan perkerasan lentur dengan gradasi celah (*gap graded*) yaitu merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang atau satu fraksi sedikit, sehingga menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak diantara kedua jenis di atas.

Susunan butir ini didapat dari perbandingan berat antar butir fraksi sehingga dapat dibuat persamaan aljabarnya atau persamaan grafiknya. Adapun rumus gradasi yang dipakai menggunakan rumus empiris dari Fuller sebagai berikut :

$$Y = \left( \frac{d}{D} \right)^m \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- Y = Persentase berat butiran yang lolos suatu lubang saringan d
- d = Ukuran lubang saringan yang dituju
- D = Ukuran terbesar dari butir agregat batuan yang dipergunakan
- m = Parameter yang nilainya antara  $\frac{1}{3}$  dan  $\frac{1}{2}$  atau 0,333 dan 0,50

Menurut *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Departemen Kimpraswil, (1999)*, gradasi kepadatan maksimal yang dipakai mengikuti *Kurva Fuller* menggunakan harga pangkat  $m = 0,45$  sehingga didapat gradasi menerus untuk *AC Wearing Course* seperti terlihat pada Tabel 2.1, sedangkan gradasi kombinasi agregat dianjurkan menghindari daerah larangan (*ressistant zone*) sebagaimana tercantum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 : Gradasi Laston Lapis Aus AC Wearing Course

Notasi	Ukuran Saringan		Spesifikasi	Kurva Fuller
	ASTM	(mm)		
D	3/4"	19,00	100	100
d	1/2"	12,70	90 – 100	83,42
	3/8"	9,52	Maks. 90	73,27
	No. 4	4,76	-	53,64
	No. 8	2,36	-	39,12
	No. 16	1,18	-	28,64
	No. 30	0,60	-	21,12
	No. 50	0,30	-	15,46
	No. 200	0,075	4 – 10	8,29

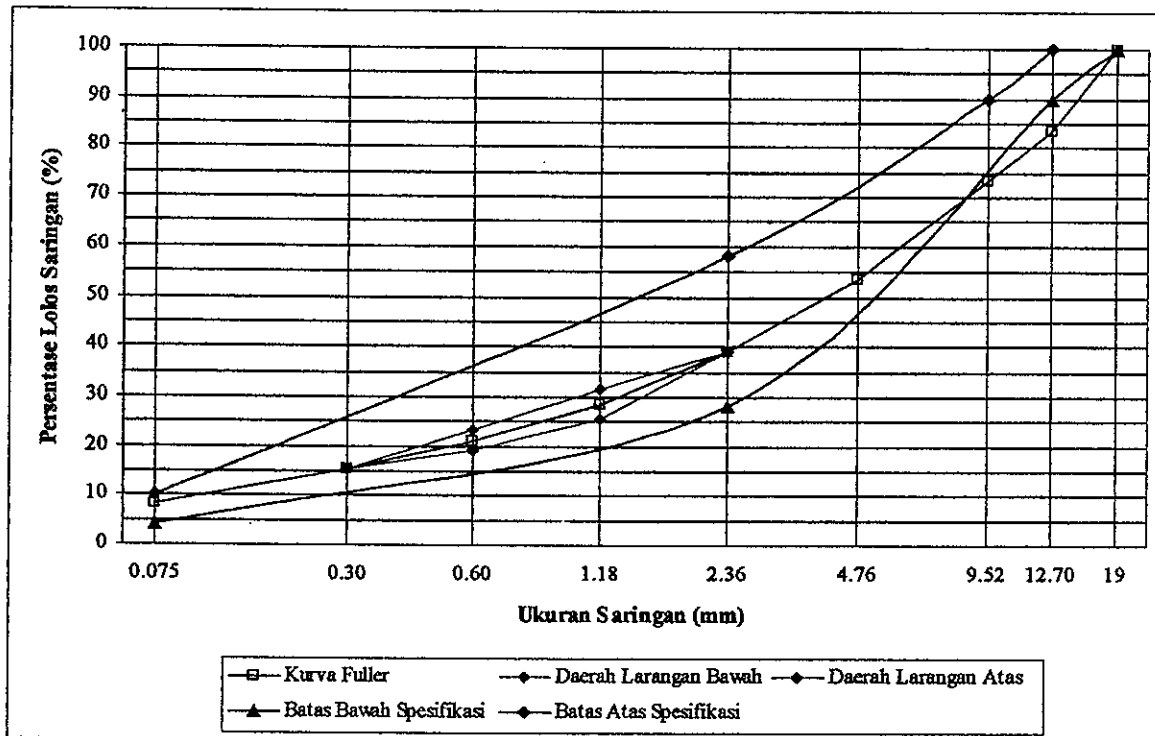
Sumber : Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (1999).

Tabel 2.2 : Gradasi Daerah Larangan Untuk AC -WC

Notasi	Ukuran Saringan		Daerah Larangan
	ASTM	(mm)	
d	No. 8	2,36	39,10 – 39,10
	No. 16	1,18	25,60 – 31,60
	No. 30	0,60	19,10 – 23,10
	No. 50	0,30	15,50 – 15,50

Sumber : Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (1999).

Untuk mempermudah membaca batasan-batasan yang tercantum di dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, maka batasan harga tersebut ditampilkan dengan grafik pada Gambar 2.1 yang menunjukkan hasil kurva Fuller.



Gambar 2.1 : Grafik Batasan Gradasi AC-Wearing Course

### 2.6.2. Kekerasan (Keausan)

Pada pengerjaan jalan, agregat akan mengalami proses tambahan seperti pemecahan, pengikisan akibat cuaca, ketika pencampuran, penghamparan dan pemadatan. Demikian pula agregat akan mengalami pengausan setelah jalan tersebut selesai dikerjakan dan dilalui oleh roda-roda lalu lintas. Oleh karena itu agregat harus mempunyai daya tahan yang cukup terhadap terjadinya pemecahan (*crushing / degradation*) dan penghancuran (*disintegration*) tersebut di atas.

Penentuan tingkat ketahanan terhadap pengikisan dapat diukur atau ditentukan dengan alat *Los Angeles Abrasion*. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula, dalam persen. Nilai tinggi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antara partikel dengan bola-bola baja.

*Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)*, mensyaratkan agregat kasar harus mempunyai nilai keausan maksimum 40% setelah diperiksa dengan mesin Los Angeles pada putaran 500 putaran, sedangkan *Spesifikasi Umum PT. Jasa Marga (2002)*, mensyaratkan keausan agregat harus mempunyai nilai maksimum 30% setelah diperiksa dengan mesin Los Angeles pada putaran 500 putaran.

### 2.6.3. Ketahanan Terhadap Pelapukan

Agregat untuk perkerasan aspal harus tahan lama atau awet, tidak boleh menjadi hancur akibat cuaca. Percobaan mengenai ketahanan terhadap pelapukan (*soundness test*) merupakan petunjuk mengenai ketahanan terhadap cuaca dari agregat yang berbutir halus maupun kasar.

Pemeriksaan ketahanan terhadap cuaca ini dilakukan dengan cara merendam agregat dalam larutan *Sodium Sulfat* atau *Natrium Sulfat* ( $\text{NaSO}_4$ ), dicuci dan direndam kembali sebanyak 5x berdasarkan AASHTO T104-77 (1982). Larutan *Sodium Sulfat* akan masuk ke pori-pori dari agregat dan akibat proses pengeringan, agregat yang tidak kuat akan hancur. Kehilangan berat akibat perendaman ini dinyatakan dalam persen.

*Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)* mensyaratkan kehilangan berat berdasarkan test *Sodium Sulfat* tidak boleh lebih dari 12%, sedangkan *Spesifikasi Umum PT. Jasa Marga (2002)* mensyaratkan kehilangan berat berdasarkan test *Sodium Sulfat* tidak boleh lebih dari 9%.

### 2.6.4. Daya Pelekatan Terhadap Aspal

Faktor yang mempengaruhi kelekatan aspal dengan agregat dapat dibedakan atas 2 bagian, yaitu :

- a) Sifat mekanis, yang tergantung dari :
  - ❖ Pori-pori dan absorpsi
  - ❖ Bentuk dan tekstur permukaan
  - ❖ Ukuran butir
- b) Sifat kimiawi dari agregat

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan agregat yang mengandung silika merupakan

agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air, hal ini mengakibatkan agregat tersebut tidak mudah dilekati aspal, ikatan aspal dengan agregat mudah lepas. Sebaliknya agregat seperti *diorit*, *andesit*, merupakan agregat *hydrophobic*, yaitu agregat yang tidak mudah terikat air, tetapi mudah terikat dengan aspal.

Agregat batuan untuk lapis perkerasan tidak hanya harus keras, namun juga dituntut mempunyai daya serap yang cukup terhadap aspal agar aspal melekat kuat pada batuan. Tetapi porositas yang besar juga tidak diharapkan, karena makin besar porositas suatu batuan, makin rendah kekerasan batu tersebut dan dapat mengakibatkan terlalu banyak aspal yang terserap yang berakibat pemakaian aspal menjadi tidak efisien. Banyaknya pori-pori diperkirakan dari banyaknya air yang dapat terserap oleh agregat, penyerapan agregat terhadap air dibatasi maksimum 3% (*Spesifikasi Departemen Kimpraswil dan PT. Jasa Marga*).

Pemeriksaan agregat untuk daya lekatnya terhadap aspal dilakukan dengan percobaan *striping* mengikuti SNI 03-2439-1991, PB-0205-76 atau AASHTO T182-82, lekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan yang tertutup aspal terhadap seluruh permukaan. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal harus lebih besar dari 95%.

#### 2.6.5. Bentuk Butiran (*Shape*)

Bentuk agregat pada umumnya terdiri dari beberapa macam bentuk, yaitu bulat / lonjong (*rounded*), pipih dan persegi atau segi banyak.

Pada konstruksi perkerasan jalan, bentuk butiran mempunyai beberapa pengaruh langsung maupun tidak langsung, antara lain sebagai berikut :

- a) Mempengaruhi cara pengerjaan campuran.
- b) Mempengaruhi kemampuan pelaksanaan pemadatan dalam mencapai kepadatan (*density*) yang ditentukan.
- c) Mempengaruhi kekuatan perkerasan aspal.

Bentuk agregat *rounded* kurang memberikan ikatan satu sama lainnya, berhubung pertemuan antara butiran hanya merupakan titik singgung saja, dan umumnya butiran *rounded* mempunyai permukaan licin, sehingga mudah bergerak apabila terkena beban di atasnya (*Ismanto, 2001 dan Sudarsono, 1976*).

Butiran agregat yang pipih, walaupun bentuknya bersudut (*tidak rounded*) dan permukaannya kasar, tetapi pengaruhnya terhadap konstruksi kurang memberikan ikatan (*interlocking*) satu sama lainnya dan kemungkinan karena tipisnya akan pecah apabila terkena beban, sehingga akan merubah gradasi agregat dalam lapisan konstruksi dan mengganggu kestabilan.

Bentuk butiran kubus adalah yang dianjurkan dalam pelaksanaan lapisan konstruksi perkerasan, dengan alasan bahwa bentuk kubus tersebut selain memberikan ikatan (*interlocking*) satu sama lainnya, juga permukaannya yang kasar memberikan gesekan yang besar antar agregat, sehingga kestabilan konstruksi dapat tercapai (*Sudarsono, 1976*).

Karena bentuk butiran akan mempengaruhi kestabilan campuran aspal panas, maka pemeriksaan bentuk butiran diperlukan untuk menentukan persentase agregat kasar yang pipih maupun lonjong. Menurut *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)*, disyaratkan indeks kepipihan dan kelongongan tidak boleh melebihi 10%. Pengujian indeks kepipihan maupun kelongongan menggunakan alat pengukur bentuk butiran berdasarkan *British Standard (BS) ASTM D 2448-92*.

#### **2.6.6. Bentuk Permukaan Butiran (*Surface Texture*)**

Permukaan butir harus cukup kasar dan bersih dari bahan-bahan *micro-organisme* dan bebas dari tanah liat / lumpur atau kotoran lainnya. Permukaan seperti ini hanya dapat dicapai apabila permukaan butir tersebut merupakan bidang-bidang pecahan baru atau hasil dari mesin pemecah batu. Permukaan yang kasar dan bentuk batu yang bersegi-segi tajam (batu pecah) akan menyebabkan kedudukan butir-butir batu tersebut lebih stabil karena saling mengunci (*Sudarsono, 1976*).

Permukaan agregat yang kasar dan bersegi-segi tajam disamping memberikan kedudukan yang stabil antara butir-butir agregat, juga akan mempengaruhi banyaknya aspal yang digunakan untuk campuran aspal. Banyaknya pemakaian aspal juga sangat tergantung pada jumlah luas permukaan butir. Butir-butir batuan yang berukuran besar relatif mempunyai luas permukaan yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan butir-butir yang berukuran lebih kecil untuk sejumlah berat yang sama.

Menurut *Asphalt Institute, (1971)*, harga faktor luas permukaan butir adalah seperti tercantum dalam Tabel 2.3, untuk agregat yang tertahan saringan di atas saringan No.4, luas permukaan ditetapkan 2 ft<sup>2</sup>/lb.

Tabel 2.3 : Faktor Luas Permukaan

Ukuran Saringan		Faktor Luas Permukaan "A"
ASTM	(mm)	(ft <sup>2</sup> /lb)
3/4 "	19,00	-
1/2 "	12,70	-
3/8 "	9,52	-
No. 4	4,76	2
No. 8	2,36	4
No. 16	1,18	8
No. 30	0,60	14
No. 50	0,30	30
No. 100	0,149	60
No. 200	0,075	160

Sumber : Asphalt Institute (1971)

Catatan : 1 ft<sup>2</sup>/lb = 0,205 m<sup>2</sup>/kg

### 2.6.7. Kebersihan Agregat

Agregat yang digunakan kadang-kadang mengandung zat-zat asing yang dapat merugikan campuran perkerasan aspal. Jenis agregat demikian tidak diinginkan, kecuali bilamana zat-zat tersebut dapat dikurangi. Zat-zat yang tidak diinginkan antara lain berupa tumbuh-tumbuhan, butiran-butiran lunak, gumpalan tanah liat, dan lapisan-lapisan tanah liat pada butiran agregat.

*California Division of Highway*, mengembangkan cara pengujian untuk menentukan "perbandingan relatif" dari bagian yang merugikan terhadap agregat lolos saringan No.4 (4,76 m), pengujian ini disebut "persamaan pasir" (*sand equivalent test*). Makin kecil nilai *Sand Equivalent*, bahan makin kotor, dan makin besar nilai *Sand Equivalent*, bahan makin bersih. *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)* mensyaratkan nilai *Sand Equivalent (SE)* minimum 40%, sedangkan *Spesifikasi Umum PT. Jasa Marga (2002)* mensyaratkan *Sand Equivalent (SE)* minimum 50%.

Disamping diuji dengan *sand equivalent test*, maka agregat harus juga diuji terhadap gumpalan lempung yang melekat pada agregat sesuai AASHTO T-112 dengan cara agregat kasar yang tertahan saringan No.16 (1,18 mm) dipisahkan

menjadi beberapa fraksi dengan ukuran yang berbeda dan direndam selama 24 jam, butiran-butiran itu kemudian diremas dengan jari untuk menentukan apakah agregat itu akan pecah. Butiran-butiran halus yang terjadi disaring dan ditimbang. Persentase dari setiap fraksi ukuran rata-rata yang pecah dari semua fraksi lalu dicatat. Karena butiran ini demikian mengganggu, maka kuantitas maksimumnya dibatasi sebesar 0,25% berat rata-rata (*Spesifikasi Umum PT. Jasa Marga, 2002*).

## 2.7. Rumus-Rumus Berat Jenis dan Volume Rongga

Kesalahan-kesalahan yang sering terjadi selama persiapan rancangan campuran kerja aspal adalah pada pengujian :

- 1) Berat jenis bulk total agregat (Gsb)
- 2) Berat jenis bulk campuran padat benda uji Marshall (Gmb)
- 3) Berat jenis maksimum campuran (Gmm)

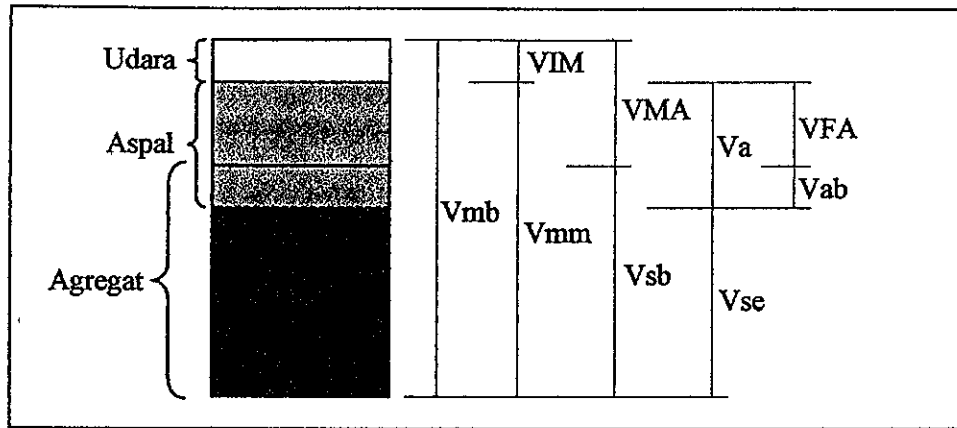
Apabila pada pengujian-pengujian dasar ini terjadi kesalahan, maka rongga udara di dalam campuran (VIM) dan rongga di antara mineral agregat (VMA) akan mengalami kesalahan yang serius. Akibatnya, kadar aspal rencana kadang-kadang terlalu tinggi, dan pada lapisan perkerasan terjadi *flush*, *bleed*, dan segera menjadi tidak stabil (*Core Team Service For North Java Road Improvement Project, 1999*).

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapannya terhadap air, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

VMA adalah volume pori di dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. Tidak termasuk di dalam VMA adalah volume pori di dalam masing-masing butir agregat. VMA akan meningkat jika selimut aspal makin tebal.

VFA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume film /selimut aspal.

Secara skematis berbagai jenis volume yang terdapat di dalam campuran beton aspal padat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Skematis berbagai jenis volume beton Aspal

- Vmb = volume kering (*bulk*) dari campuran beton aspal padat.
- Vmm = volume tanpa pori dari beton aspal padat.
- VIM = volume pori dalam beton aspal padat.
- Vsb = volume agregat, adalah volume *bulk* dari agregat, yaitu volume bagian masif dan pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat.
- VMA = volume pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat.
- Vse = volume efektif dari agregat, yaitu volume bagian masif dan pori yang tidak terisi aspal di dalam masing-masing butir agregat.
- Va = volume aspal dalam beton aspal padat.
- Vab = volume aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal padat.
- VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal.

Rumus-rumus untuk menghitung berat jenis dan volume rongga diambil dari *Asphalt Institute, MS-2, 1995* dan *Asphalt Institute Superpave Series No.2 (SP-2)-2001* sebagai berikut :

1) Berat Jenis Bulk Total Agregat (Gsb)

Karena agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*), yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, maka berat jenis bulk (Gsb) agregat total dihitung sebagai berikut :

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- Gsb = Berat jenis bulk total agregat  
 P<sub>n</sub> = Persentase masing-masing fraksi agregat  
 Gsb<sub>n</sub> = Berat jenis *bulk* masing-masing fraksi agregat

## 2) Berat Jenis Efektif Agregat (Gse)

Apabila berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T-209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal, dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$Gse = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{Gmm} - \frac{P_b}{Gb}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- Gse = Berat jenis efektif agregat  
 Gmm = Berat jenis maksimum yang diuji dengan AASHTO T-209-90 atau ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran.  
 P<sub>mm</sub> = Persen berat total campuran (100%)  
 P<sub>b</sub> = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan AASHTO T-209-90 atau ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran.  
 G<sub>b</sub> = Berat jenis aspal

Menurut *Asphalt Institute Superpave Series No.2 (SP-2)-2001* berat jenis efektif (Gse) dapat juga ditentukan dengan mendasarkan berat jenis kering agregat (Gsb) dan berat jenis apparent agregat (Gsa) sebagai berikut :

$$Gse = \frac{Gsa + Gsb}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

## 3) Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)

Berat jenis maksimum campuran Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T-209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaiknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah atau tiga buah.

Selanjutnya berat jenis maksimum ( $G_{mm}$ ) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif ( $G_{se}$ ) rata-rata sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- $G_{mm}$  = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol (AASHTO T-209-90 atau ASTM 2041).
- $P_{mm}$  = Persen berat total campuran (100%)
- $P_b$  = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan AASHTO T-209-90 atau ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran.
- $G_{se}$  = Berat jenis efektif agregat
- $G_b$  = Berat jenis aspal

#### 4) Penyerapan Aspal ( $P_{ba}$ )

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran, perhitungan penyerapan aspal ( $P_{ba}$ ) adalah sebagai berikut :

$$P_{ba} = \frac{(G_{se} - G_{sb})}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \times 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- $P_{ba}$  = Penyerapan aspal, persen total agregat.
- $G_{sb}$  = Berat jenis bulk total agregat.
- $G_{se}$  = Berat jenis efektif agregat
- $G_b$  = Berat jenis aspal

#### 5) Kadar Aspal Efektif ( $P_{be}$ )

Kadar aspal efektif ( $P_{be}$ ) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan, rumus kadar aspal efektif adalah sebagai berikut :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- Pbe = Kadar aspal efektif, persen total campuran.  
 Pb = Kadar aspal, persen total campuran.  
 Pba = Penyerapan aspal, persen total agregat  
 Ps = Kadar agregat, persen total campuran (100 – Pb ).

#### 6) Tebal Lapis Aspal Film (Ta)

Tebal lapis aspal film (Ta) campuran beraspal adalah tebal dari kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat gabungan pada campuran aspal yang dipadatkan, dengan besaran satuannya adalah *micron*.

Tebal lapisan aspal film ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Ta = \frac{1000 \times (Pb - Pba)}{A \times Gb \times (100 - Pb)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- Ta = Tebal lapis film aspal  
 Pb = Kadar aspal, persen total campuran.  
 Pba = Penyerapan aspal, persen total agregat  
 A = Luas permukaan agregat (lihat Tabel 2.3)  
 Gb = Berat jenis aspal

#### 7) Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA) adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan aspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total.

Perhitungan VMA terhadap berat campuran total dan terhadap berat agregat total adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times (100 - Pb)}{Gsb} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume kering (bulk).  
 Gsb = Berat jenis total kering (bulk) agregat.  
 Gmb = Berat jenis kering (bulk) campuran padat (AASHTO T-166).  
 Pb = Kadar aspal, persen total campuran.

## 8) Rongga Udara Didalam Campuran (VIM)

Rongga udara didalam campuran aspal padat (VIM) terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$VIM = 100 \times \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- VIM = Rongga udara didalam campuran aspal beton padat, persen total campuran.
- G<sub>mb</sub> = Berat jenis bulk campuran aspal beton padat (AASHTO T-166).
- G<sub>mm</sub> = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol (AASHTO T0209-90 atau ASTM 2041).

## 9) Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rongga terisi aspal (VFA) dalam persen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

- VFA = Rongga terisi aspal, persen VMA.
- VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume bulk.
- VIM = Rongga udara didalam campuran aspal beton padat, persen total campuran.

## 10) Dust Proportion (DP)

*Dust Proportion (DP)* adalah nilai hasil bagi antara persentase kadar *filler* dibagi dengan persentase kadar aspal efektif (P<sub>be</sub>). Nilai *dust proportion (DP)* ini merupakan suatu nilai untuk mengetahui kondisi campuran aspal. Jika *dust proportion* terlalu tinggi, maka campuran aspal menjadi kurang dapat menyatu antara agregat kasar dan agregat halus, karena aspal banyak terserap dan menyelimuti *filler*. Menurut *Asphalt Institute Superpave Series No.2 (SP-2)-2001* disyaratkan nilai DP berkisar antara 0,6 – 1,2. Adapun rumus DP adalah sebagai berikut :

$$DP = \frac{P_{0,075}}{P_{be}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

DP = Dust proportion

$P_{0,075}$  = Agregat lolos saringan No. 200 (0,075 mm), persen total campuran agregat.

Pbe = Kadar aspal efektif, persen total campuran.

## 2.8. Penelitian Sebelumnya Yang Pernah Dilakukan

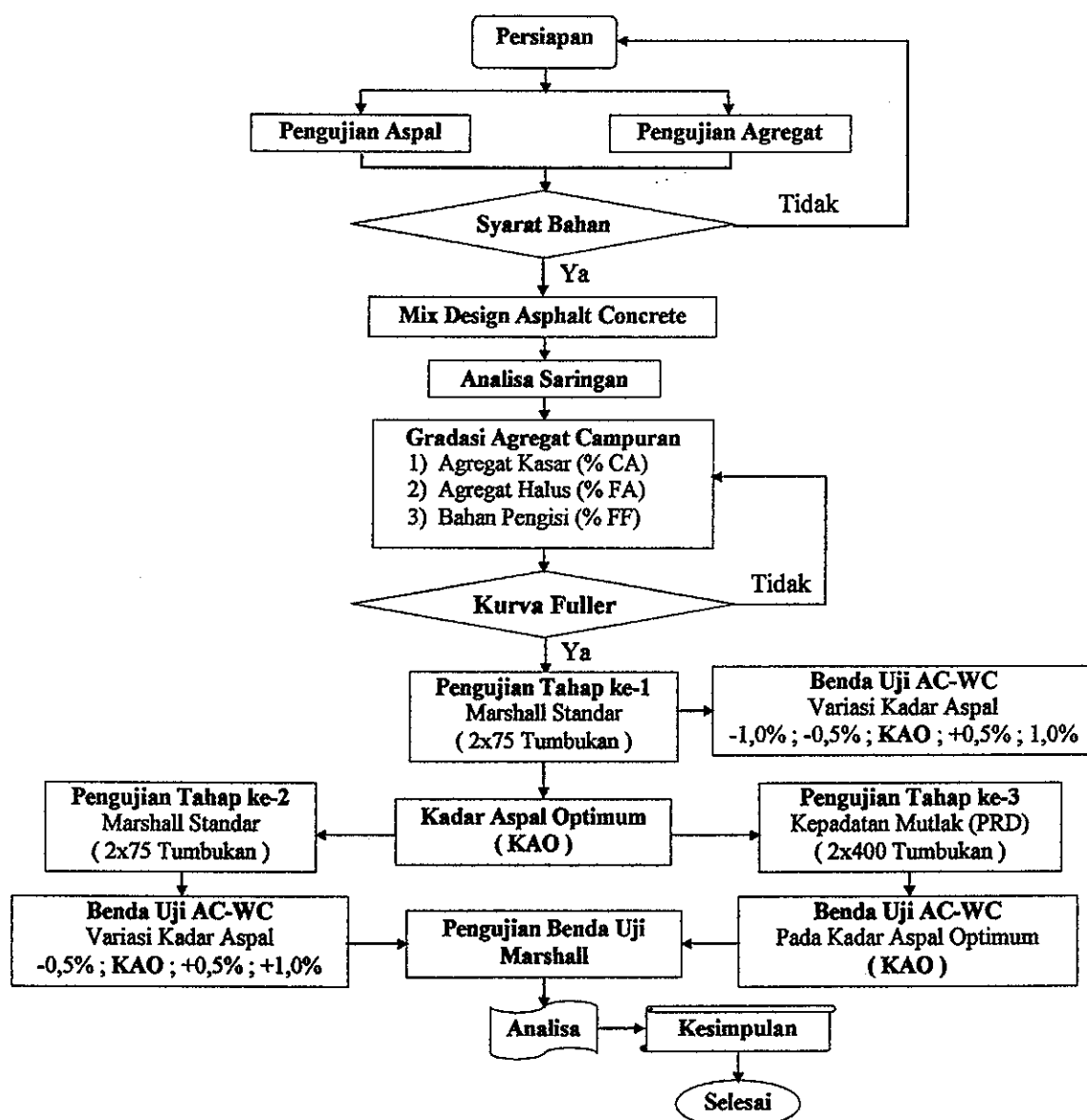
Menurut *Wiratmoko, dkk, (1999)*, campuran emulsi bergradasi rapat dengan agregat kasar *rounded* (CEBR-Rc) mempunyai nilai stabilitas kering dan stabilitas rendaman lebih tinggi dari campuran emulsi bergradasi rapat dengan agregat kasar pecah (CEBR-Cc) pada kadar agregat kasar 66%, kadar agregat halus 30%, kadar filler 4% dan kadar aspal emulsi 11% sampai kadar agregat kasar 56%, kadar agregat halus 37,5%, kadar filler 6,5% dan kadar aspal emulsi 11%. Sedangkan CEBR-Cc mempunyai nilai stabilitas kering dan stabilitas rendaman lebih tinggi dari CEBR-Rc pada kadar agregat kasar 75%, kadar agregat halus 23%, kadar filler 2% dan kadar aspal emulsi 11% sampai kadar agregat kasar 66%, kadar agregat halus 30%, kadar filler 4% dan kadar aspal emulsi 11%.

Menurut *Robert D. Krebs dan Richard D. Walker, (1971)*, sifat *interlocking* paling baik didapat dari agregat berbentuk kubus dan ujungnya tajam, umumnya agregat ini hasil mesin pemecah batu, tetapi agregat alam berbentuk bulat seperti kerikil atau pasir dapat menghasilkan suatu campuran yang baik, terutama jika tipe gradasinya tepat.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Pelaksanaan Penelitian

Dalam pembuatan campuran AC-WC, percobaan dilakukan di laboratorium yang meliputi pemeriksaan bahan, pembuatan rancangan campuran, pembuatan dan pengujian benda uji dengan standar Marshall, selanjutnya dilakukan analisa berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil rancangan campuran dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*). Adapun pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan secara skematis dalam bagan alir seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 : Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

Berdasarkan bagan alir Gambar 3.1, dapat diuraikan langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

- 1) Menguji bahan agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi dan aspal, menurut metode yang tercantum di dalam manual pemeriksaan bahan jalan No.01/MN/BM/1976 Direktorat Jenderal Bina Marga.
- 2) Jika hasil evaluasi data tidak ada masalah, maka dilanjutkan dengan persiapan Rancangan Campuran Aspal Beton (*Mix Design Asphalt Concrete*).
- 3) Persiapan rancangan campuran aspal beton dimulai dengan mempersiapkan masing-masing data gradasi agregat kasar, gradasi agregat halus, dan gradasi bahan pengisi. Adapun untuk dasar penelitian pengaruh agregat kasar *rounded* maka analisa saringan didasarkan pada analisa saringan agregat kasar pecah.
- 4) Analisa selanjutnya adalah menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat yang akan dipakai sebagai agregat campuran berdasarkan data gradasi agregat kasar pecah, gradasi agregat halus, dan gradasi bahan pengisi.
- 5) Perhitungan proporsi masing-masing fraksi agregat ditentukan dengan mendasarkan pada target gradasi campuran yang diharapkan.
- 6) Setelah proporsi masing-masing fraksi agregat ditentukan, maka dapat ditetapkan jumlah masing-masing fraksi agregat pada setiap nomor saringan yang diperlukan untuk agregat campuran.
- 7) Melakukan kombinasi antara agregat kasar pecah dengan agregat kasar *rounded* berdasarkan jumlah agregat kasar pada setiap nomor saringan yang sudah ditetapkan untuk mendapatkan variasi agregat kasar sebagai berikut :
  - 100% Agregat kasar pecah + 0% Agregat kasar *rounded*
  - 75% Agregat kasar pecah + 25% Agregat kasar *rounded*
  - 50% Agregat kasar pecah + 50% Agregat kasar *rounded*
  - 25% Agregat kasar pecah + 75% Agregat kasar *rounded*
  - 0% Agregat kasar pecah + 100% Agregat kasar *rounded*
- 8) Melakukan pengujian berat jenis dan absorpsi masing-masing fraksi variasi agregat kasar dan halus serta bahan pengisi (*filler*) untuk mendapatkan berat jenis gabungan agregat campuran.
- 9) Berdasarkan gradasi agregat campuran maka dapat diketahui persentase pemakaian masing-masing agregat kasar (%CA), agregat halus (%FA), dan bahan pengisi (%FF) di dalam campuran.

- 10) Menentukan perkiraan pemakaian kadar aspal optimum (Pb) yang diperlukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

Catatan : Nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk Laston AC-WC

- 11) Perkiraan nilai Pb dibulatkan sampai 0,5% terdekat.
- 12) Setelah perkiraan nilai kadar aspal optimum (Pb) diperoleh, kemudian dilanjutkan pembuatan benda uji Marshall untuk pengujian Tahap ke-1 dengan menggunakan agregat kasar pecah, agregat halus dan filler sebagai bahan standar guna penentuan kadar aspal optimum (KAO) yang sebenarnya diperlukan di dalam campuran. Pembuatan benda uji ini berdasarkan pengujian Marshall Standar dengan jalan memadatkan benda uji sebanyak 2x75 tumbukan pada kadar aspal sebagai berikut :

i) Dua kadar aspal di atas Pb

ii) Dua kadar aspal di bawah Pb

Adapun jumlah benda uji pada pengujian tahap ke-1 seperti tercantum di dalam Tabel 3.5.

- 13) Melakukan pengujian berat jenis bulk campuran aspal padat benda uji Marshall (Gmb) sesuai AASHTO T166 untuk menentukan VMA, VIM, dan VFA.
- 14) Melakukan pengujian Marshall sesuai dengan SNI 06-2489-1991 untuk menentukan stabilitas, kelelahan (*flow*), hasil bagi Marshall (MQ).
- 15) Dari hasil analisa pengujian benda uji Marshall pada tahap ke-1, selanjutnya dibuat gambar grafik hubungan antara kadar aspal dengan masing-masing parameter Marshall sebagai berikut :
- a) Kepadatan kering (*bulk density*), Gmb
  - b) Rongga didalam mineral agregat, VMA
  - c) Rongga didalam campuran beton aspal padat, VIM
  - d) Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal, VFA
  - e) Stabilitas Marshall
  - f) Kelelahan plastis (*flow*)
  - g) Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotien*), MQ

- 16) Selanjutnya pada gambar grafik hubungan antara kadar aspal dengan masing-masing parameter Marshall digambarkan batas-batas persyaratan yang tercantum dalam Tabel 3.3 untuk menentukan nilai parameter Marshall yang memenuhi persyaratan.
- 17) Nilai parameter Marshall yang memenuhi persyaratan dibuat gambar diagram seperti pada Gambar 3.3, untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO).
- 18) Nilai KAO ditetapkan berdasarkan nilai kadar aspal rencana yang berada pada titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter yang disyaratkan.
- 19) Setelah diperoleh kadar aspal optimum (KAO), maka pengujian dilanjutkan pada tahap ke-2 dan tahap ke-3 yang dilakukan terhadap semua kombinasi agregat kasar pecah dan agregat kasar *rounded*. Adapun jumlah benda uji pada tahap ke-2 dan tahap ke-3 seperti tercantum didalam Tabel 3.5.
- 20) Pengujian pada tahap ke-2 dilakukan dengan pembuatan benda uji Marshall Standar 2x75 tumbukan dengan variasi kadar aspal sebagai berikut :
  - i) Dua kadar aspal di atas nilai KAO
  - ii) Satu kadar aspal di bawah nilai KAO
- 21) Pengujian pada tahap ke-3 dilakukan dengan pembuatan benda uji Marshall pada kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan pengujian pada tahap ke-1 dengan jumlah pemadatan benda uji sebanyak 2x400 tumbukan untuk memperoleh benda uji pada kondisi kepadatan mutlak (*PRD*).
- 22) Setelah pembuatan benda uji baik tahap ke-2 maupun tahap ke-3 selesai, maka dilanjutkan pengujian Gmb untuk mendapatkan nilai VMA, VIM dan VFA serta pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas, kelelahan plastis dan hasil bagi Marshall (MQ).
- 23) Analisa, kesimpulan dan saran.

### 3.2. Persyaratan Agregat

Seluruh bahan agregat yang akan digunakan untuk penelitian campuran aspal beton (*Asphalt Concrete Wearing Course*) ini menggunakan *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)*, seperti tercantum di dalam Tabel 3.1.

Gradasi agregat campuran harus berada di dalam titik kontrol (Tabel 2.1) tetapi tidak boleh memotong daerah larangan (Tabel 2.2).

Tabel 3.1 : Persyaratan Mutu Agregat

Pengujian	Metode Pengujian	Agregat Kasar	Agregat Halus	Bahan Pengisi
1. Abrasi	SNI-03-2417-1991 AASHTO T-96-87	Maks. 40%	-	-
2. Soundness	SNI-03-3407-1994 AASHTO T-104-86	Maks. 12%	-	-
3. Sand Equivalent	SNI-03-4428-1997 AASHTO T-176-86	-	Min. 40%	
4. Kelekatan terhadap aspal (striping)	SNI-03-2439-1991 PB-0205-76 AASHTO T-182-70	Min. 95%	-	-
5. Index kepipihan / kelonjongan	British Standard ASTM D-4791-95	Maks. 10%	-	-
6. Berat jenis semu	PB-0202-76 AASHTO T-85-74 PB-0203-76 AASHTO T-84-74	Min. 2,5	Min. 2,5	-
7. Gumpalan lempung	AASHTO T-112	Maks. 0,25%	-	-
8. Absorpsi	PB-0202-76 AASHTO T-85-77	Maks. 3%	-	-
9. Agregat lolos saringan No. 8	-	-	100%	
10. Agregat lolos saringan No. 200	-	Maks. 1%	Maks. 8%	Maks. 75%

Sumber : Departemen Kimpraswil (2001)

### 3.3. Persyaratan Aspal

Aspal yang akan digunakan untuk campuran aspal panas mempunyai fungsi sebagai bahan pengikat dan sebagai bahan pengisi rongga di antara butir-butir agregat serta pori-pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat. Dengan demikian aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai sifat melekat yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

Karena aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, maka sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium, dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur. Untuk penelitian ini menggunakan *Spesifikasi Umum PT. Jasa Marga (2002)*, seperti dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 : Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
1. Penetrasi ( 100 gr, 25°C, 5 detik )	SNI-06-2456-91	60	70	0,1 mm
2. Titik lembek ( <i>ring ball</i> )	SNI-06-2434-91	48	58	°C
3. Titik nyala dan bakar ( <i>Cleveland open cup</i> )	SNI-06-2433-91	200	-	°C
4. Kehilangan berat (TFOT) (163 °C, 5 jam)	SNI-06-2441-91	-	0,8	% berat
5. Kelarutan dalam CCL <sub>4</sub>	SNI-06-2438-91	99	-	% berat
6. Daktilitas ( 100 gr, 25°C, 5 cm/menit )	SNI-06-2432-91	100	-	Cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI-06-2432-91	54	-	% semula
8. Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI-06-2432-91	50	-	Cm
9. Berat jenis ( 25°C )	SNI-06-2488-91	1	-	Gr/cm

Sumber : PT. Jasa Marga (2002)

### 3.4. Persyaratan Campuran Aspal

Campuran bergradasi menerus mempunyai sedikit rongga di dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Hal ini menyebabkan campuran Laston AC-Wearing Course lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran. Kepekaan ini dapat dikurangi dengan menggeser sebagian gradasi menjauh ke atas atau sebagian gradasi ada di bawah Kurva Fuller (Gambar 2.1). Di atas kurva Fuller campuran cenderung lebih halus dan lebih mudah dipadatkan, tetapi ketahanannya terhadap deformasi lebih rendah. Kalau di bawah kurva Fuller campuran cenderung sulit dipadatkan, tekstur lebih kasar tetapi tahan terhadap deformasi.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan persyaratan campuran aspal panas menurut *Spesifikasi Baru Aspal Campuran Panas Departemen Kimpraswil (2001)*, seperti tercantum didalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 : Persyaratan Campuran Laston AC-Wearing Course

Sifat-sifat Campuran		Persyaratan
Penyerapan kadar aspal, %	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Maks. 1,2
	Lalu lintas (LL) < 1 juta ESA	Maks. 1,7
Jumlah tumbukan per bidang	-	75 kali
Rongga dalam campuran (VIM), %	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	4,9 – 5,9
	0,5 juta ESA < LL < 1 juta ESA	3,9 – 4,9
	Lalu lintas (LL) < 0,5 juta ESA	3,0 – 5,0
Rongga dalam agregat (VMA), %	-	Min. 15
Rongga terisi aspal (VFA), %	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min. 65
	0,5 juta ESA < LL < 1 juta ESA	Min. 68
	Lalu lintas (LL) < 0,5 juta ESA	Min. 75
Stabilitas Marshall (kg)	-	Min. 800
Kelelahan plastis (mm)	-	Min. 2
Marshall Quotient (kg/mm)	-	Min. 200
Stabilitas Marshall Sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60°C.	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min. 85 %
	Lalu lintas (LL) < 1 juta ESA	Min. 80 %
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan Membal ( <i>Refusal</i> ).	Lalu lintas (LL) > 1 juta ESA	Min. 2,5
	0,5 juta ESA < LL < 1 juta ESA	Min. 2,0
	Lalu lintas (LL) < 0,5 juta ESA	Min. 1,0

Sumber : Departemen Kimpraswil (2001)

Catatan :

- 1) Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual, jumlah tumbukan per bidang harus 600 kali untuk cetakan berdiameter 6 in (15,24 mm), dan 400 kali untuk per bidang cetakan berdiameter 4 in (10,16 mm).
- 2) Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan kriteria ESA yang lebih tinggi.
- 3) Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, AASHTO T-209).

### 3.5. Peralatan Penelitian

#### 1. Alat uji pemeriksaan aspal

- a) Alat uji penetrasi
- b) Alat uji titik lembek
- c) Alat uji titik nyala
- d) Alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan)

## 2. Alat uji pemeriksaan agregat

### 1) Alat penguji agregat kasar

- a) Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung keranjang benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- b) Satu set saringan standar untuk pemisahan fraksi agregat.
- c) Alat pengering (oven), yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi agregat.
- d) Mesin Los Angeles untuk test abrasi (keausan).
- e) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No.6 dan No.8) dengan kapasitas 5 kg.
- f) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan volume agregat yang dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- g) Talam dan cawan untuk tempat agregat.
- h) Pisau pengaduk baja (spatula) lebar 1" panjang 4".
- i) Tabung gelas kimia (baker) kapasitas 600 ml.
- j) Termometer logam  $\pm 200^{\circ}\text{C}$  dan  $\pm 100^{\circ}\text{C}$
- k) Air suling dengan pH 6,0 sampai 7,0.

### 2) Alat penguji agregat halus

- a) Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung keranjang benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- b) Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
- c) Kerucut terpancung (*cone*), diameter bagian atas ( $40 \pm 3$ ) mm, diameter bagian bawah ( $90 \pm 3$ ) mm dan tinggi ( $75 \pm 3$ ) mm dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm.
- d) Batang penumbuk yang mempunyai bidang rata, berat ( $340 \pm 15$ ) gram, diameter permukaan penumbuk ( $25 \pm 3$ ) mm.
- e) Saringan No. 4
- f) Alat pengering (oven), yang dilengkapi dengan pengatur.
- g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan  $1^{\circ}\text{C}$ .

- h) Bejana tempat air
- i) Tabung uji sand equivalent
- j) Desikator

3) Alat penguji bahan pengisi (filler)

- a) Botol Le Chatelier
- b) Kerosin bebas air atau naphtha dengan berat jenis 62 API (*American Petroleum Institute*).

3. Alat uji karakteristik campuran aspal beton

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat uji metode Marshall, yang meliputi :

- a) Cetakan benda uji berdiameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm lengkap dengan pelat alas dan leher penyambung.
- b) Alat penumbuk dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,72 cm.
- c) Landasan pemadat dan pemegang cetakan benda uji.
- d) Alat pengeluar benda uji.
- e) Alat uji Marshall
- f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu yang mampu memanasi sampai 200 °C.
- g) Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20°C sampai 60°C.
- h) Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- i) Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*) berkapasitas 250°C dengan ketelitian 1% dari kapasitas.
- j) Perlengkapan lain :
  - Panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal.
  - Sendok pengaduk dan *spatula*.
  - Kompor atau pemanas.
  - Sarung tangan dari asbes, sarung tangan dari kain kaos, sarung tangan karet dan pelindung pernapasan.

k) Bahan penunjang :

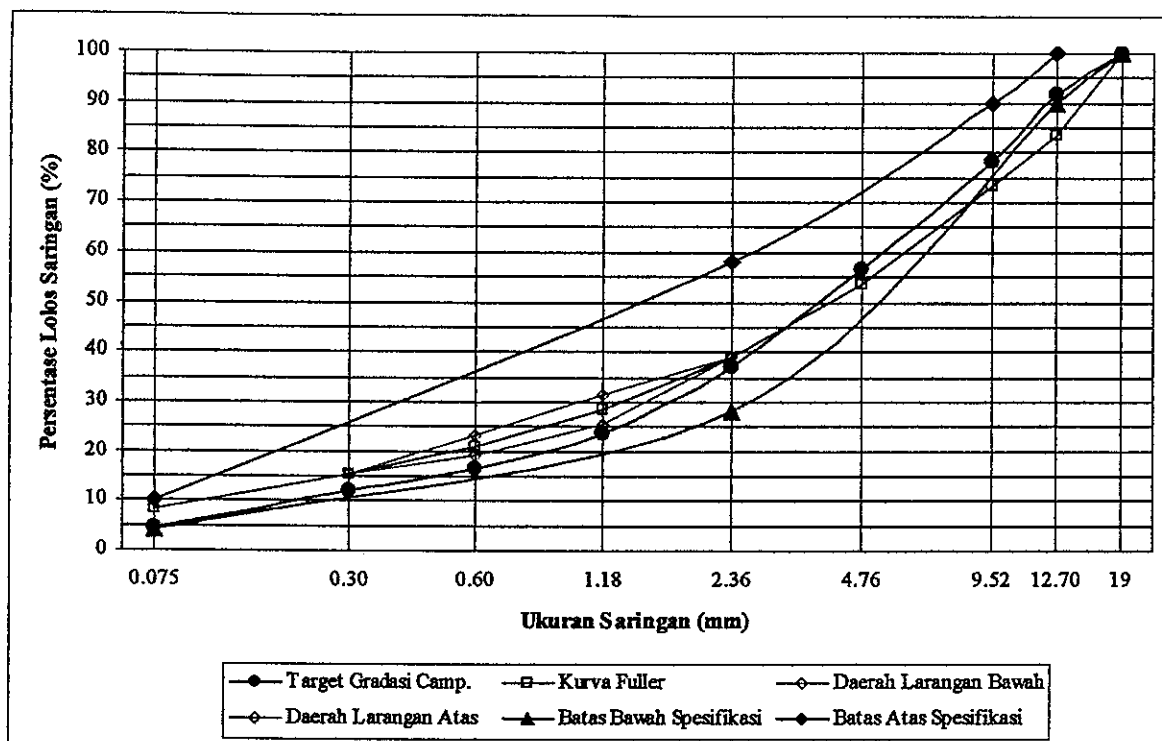
- Kantong-kantong plastik, kapasitas 2 kg.
- Gas elpiji

### 3.6. Persiapan Benda Uji

1. Agregat kasar pecah dan agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) tertahan saringan No.4 dikombinasikan, dengan perbandingan terhadap total agregat sebagai berikut :
  - a) 100% Pecah + 0% *Rounded*
  - b) 75% Pecah + 25% *Rounded*
  - c) 50% Pecah + 50% *Rounded*
  - d) 25% Pecah + 75% *Rounded*
  - e) 0% Pecah + 100% *Rounded*
  
2. Gradasi kombinasi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi dikombinasikan untuk mendapatkan persentase pemakaian masing-masing agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) sehingga diperoleh kombinasi gradasi sesuai kurva Fuller (Tabel 2.1) dan target gradasi yang dikehendaki (Tabel 3.4). Target hasil gradasi agregat campuran harus diluar daerah larangan sebagaimana tercantum dalam Gambar 3.2.

Tabel 3.4 : Target Gradasi Agregat Campuran

Ukuran Saringan		Target Gradasi Agregat Campuran	Kurva Fuller	Spesifikasi	Daerah Larangan
ASTM	(mm)				
3/4"	19	100	100	100	-
1/2"	12.7	92.52	83.42	90 -100	-
3/8"	9.52	83.45	73.27	Max. 90	-
No. 4	4.76	56.46	53.64	-	-
No. 8	2.36	37.00	39.12	28 - 58	39.1 - 39.1
No.16	1.18	22.95	28.64	-	25.6 - 31.6
No.30	0.6	15.72	21.12	-	19.1 - 23.1
No.50	0.3	10.89	15.46	-	15.5 - 15.5
No.200	0.075	5.00	8.29	4 - 10	-



Gambar 3.2 : Grafik Target Gradasi Agregat Campuran

3. Kadar aspal optimum (Pb) yang diperlukan diperkirakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan :

CA = Agregat kasar

FA = Agregat halus

FF = Bahan pengisi

Nilai konstanta untuk Laston Aus AC-WC sebesar 0,5 sampai 1,0

4. Hasil perkiraan nilai Pb dibulatkan sampai 0,5% terdekat.
5. Untuk mencari kadar aspal optimum (KAO) sebagai dasar pembuatan benda uji akibat pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) maka dilakukan pengujian tahap ke-1 dengan menggunakan agregat kasar pecah sebagai benda uji standard dengan 5 (lima) variasi kadar aspal sebagai berikut : -1,0% ; -0,5% ; Pb ; +0,5% ; +1,0%.

Banyaknya benda uji untuk masing-masing kombinasi agregat kasar dengan variasi kadar aspal seperti tercantum dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.5 : Jumlah Benda Uji Marshall Yang Diperlukan

Kombinasi Agregat Kasar (%)	Tahap ke-1 Marshall Standar (2x75 tumbukan)					Tahap ke-2 Marshall Standar (2x75 tumbukan)				Tahap ke-3 PRD (2x400 Tumbukan)
	Variasi Kadar Aspal					Variasi Kadar Aspal				Kadar Aspal
	-1,0%	-0,5%	Pb	+0,5%	+1,0%	-0,5%	KAO	+0,5%	+1,0%	KAO
100P +0R	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D
	-	-	-	-	-	2S	2S	2S	2S	2S
75P + 25R	-	-	-	-	-	2D	2D	2D	2D	2D
	-	-	-	-	-	2S	2S	2S	2S	2S
50P + 50R	-	-	-	-	-	2D	2D	2D	2D	2D
	-	-	-	-	-	2S	2S	2S	2S	2S
25P + 75R	-	-	-	-	-	2D	2D	2D	2D	2D
	-	-	-	-	-	2S	2S	2S	2S	2S
0P + 100R	-	-	-	-	-	2D	2D	2D	2D	2D
	-	-	-	-	-	2S	2S	2S	2S	2S
Jumlah	2x5 = 10 benda uji					2x4x10 = 80 benda uji				2x10 = 20 benda uji

Keterangan :

- P = Agregat kasar pecah
- R = Agregat kasar tanpa bidang pecah (*Rounded*)
- D = *Dry* (kondisi kering)
- S = *Soaked* (kondisi rendaman)

6. Pencampuran dilakukan sebagai berikut :

- 1) Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak  $\pm 1200$  gram, sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira  $63,50 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ .
- 2) Agregat dipanaskan didalam panci pencampur pada temperatur (170-180) $^{\circ}\text{C}$ .
- 3) Aspal dipanaskan sampai mencapai tingkat kekentalan (viskositas) aspal penetrasi 60/70 yang disyaratkan ( $170 \pm 20$ ) centistokes atau pada temperatur  $155^{\circ}\text{C}$  (*Departemen Pekerjaan Umum, 2000*).
- 4) Aspal yang sudah dipanaskan dan mencapai tingkat kekentalan yang disyaratkan dituangkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan sebanyak yang dibutuhkan.
- 5) Agregat dan aspal yang sudah tercampur kemudian diaduk dengan cepat sampai agregat terselimuti aspal secara merata.
- 6) Suhu campuran selalu di periksa agar tidak berada dibawah suhu yang ditetapkan.

7. Pemadatan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Campuran aspal panas dimasukkan ke dalam cetakan pada temperatur minimum 130°C.
- 2) Pemadatan campuran aspal panas mulai dilakukan pada temperatur (125-130) °C.
- 3) Pemadatan dilakukan sedemikian rupa sehingga temperatur campuran setelah pemadatan tidak dibawah temperatur minimum yang ditetapkan yaitu 95°C.
- 4) Sebelum campuran aspal panas dimasukkan ke dalam cetakan, maka perlengkapan cetakan serta bagian muka alat penumbuk dibersihkan dengan seksama dan dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai temperatur (93,3-148,9) °C.
- 5) Cetakan diletakkan di atas landasan pemadat, kemudian ditahan dengan pemegang cetakan.
- 6) Selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan diletakkan ke dalam dasar cetakan.
- 7) Seluruh campuran kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditusuk-tusuk dengan spatula yang sudah dipanaskan sebanyak 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali dibagian tengahnya, kemudian permukaan benda uji diratakan dan dilakukan pemadatan.
- 8) Untuk pengujian memakai Marshall standar, pemadatan terhadap benda uji dilakukan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali tumbukan, sedangkan untuk pengujian Kepadatan Membal (PRD), pemadatan terhadap benda uji dilakukan sebanyak 400 kali tumbukan dengan tinggi jatuh alat tumbuk untuk kedua metode ini setinggi 457,2 mm. Selama pemadatan diusahakan palu penumbuk selalu tegak lurus pada alas cetakan.
- 9) Setelah pemadatan selesai, maka pelat alas berikut leher sambung dilepas dari cetakan benda uji, kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pelat alas berikut leher sambung dipasang kembali pada cetakan yang dibalikkan tadi.
- 10) Permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tadi ditumbuk dengan jumlah tumbukan yang sama sebanyak 75 kali untuk Marshall standar dan 400 kali untuk metode Kepadatan Membal.

- 11) Sesudah pemadatan selesai, keping alas dilepas dan dipasang alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini.
- 12) Benda uji dikeluarkan dengan hati-hati dan diberi tanda pengenal.
- 13) Benda uji diletakkan pada permukaan yang rata, kemudian dibiarkan selama  $\pm 24$  jam pada suhu ruang.

### 3.7. Persiapan Pengujian

- 1) Setelah dibiarkan  $\pm 24$  jam pada suhu ruang, benda uji Marshall dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel.
- 2) Tinggi benda uji diukur dengan ketelitian 0,1 mm.
- 3) Benda uji ditimbang dalam kondisi kering udara (Bk).
- 4) Setelah penimbangan dalam kondisi kering udara dilakukan, maka benda uji direndam didalam air  $\pm 24$  jam pada suhu ruang agar pori-pori benda uji terisi air sampai tidak ada gelembung udara yang keluar.
- 5) Setelah direndam  $\pm 24$  jam, benda uji ditimbang di dalam air (Ba) untuk mendapatkan volume benda uji.
- 6) Benda uji dikeringkan dengan kain yang bisa menghisap air untuk mendapatkan benda uji dalam kondisi keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
- 7) Benda dalam kondisi keadaan kering permukaan jenuh (Bj) ditimbang.
- 8) Batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam kepala penekan alat Marshall dibersihkan sehingga kepala penekan bagian atas dapat meluncur bebas.

### 3.8. Cara Pengujian

Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji Marshall dari bak perendam sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

- 1) Benda uji yang sudah ditimbang dalam kondisi kering permukaan jenuh (SSD) kemudian direndam di dalam bak perendam (*water bath*). Untuk mendapatkan benda uji dalam kondisi kering (*dry*), benda uji direndam selama (30-40) menit dengan suhu tetap ( $60 \pm 1$ ) $^{\circ}$ C, sedangkan untuk mendapatkan benda uji dalam kondisi rendaman (*soaked*), benda uji direndam selama 24 jam dengan suhu tetap ( $60 \pm 1$ ) $^{\circ}$ C.
- 2) Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan diletakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.

- 3) Segmen atas kepala penekan dipasang di atas benda uji dan keseluruhannya diletakkan dalam mesin penguji.
- 4) Arloji pengukur alir (*flow*) dipasang pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan kedudukan jarum penunjuk diatur pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- 5) Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sampai menyentuh alas cincin penguji (*proving ring*).
- 6) Jarum arloji diatur dan ditekan pada kedudukan angka nol.
- 7) Pembebanan kepada benda uji diberikan dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm/menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan pembebanan maksimum yang tercapai dicatat.
- 8) Nilai alir (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai dicatat.

### 3.9. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) diperoleh dari grafik hubungan hasil pengujian antara kadar aspal dengan parameter Marshall, yang meliputi :

- 1) Kepadatan kering (*Bulk density "Gmb"*).
- 2) Rongga udara diantara mineral agregat (VMA).
- 3) Rongga udara didalam campuran (VIM).
- 4) Rongga terisi aspal (VFA).
- 5) Stabilitas Marshall
- 6) Kelelehan plastis (*flow*).
- 7) Hasil bagi Marshall (MQ).

Batasan yang tercantum dalam Tabel 3.3 digambarkan kedalam grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall, sehingga diperoleh rentang kadar aspal yang memenuhi syarat seperti tampak pada Gambar 3.3 untuk menentukan kadar aspal rencana. Kadar aspal optimum rencana diambil pada titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter yang disyaratkan.

Sifat-sifat campuran	Rentang Kadar Aspal (%)										
	4,5		5,0		5,5		6,0		6,5		
Stabilitas Marshall											Rentang Yang Memenuhi Seluruh Parameter Campuran Beraspal
Kelelahan plastis											
Hasil bagi Marshall (MQ)											
Rongga terisi aspal (VFA)											
Rongga diantara agregat (VMA)											
Rongga didalam campuran VIM)											
Kepadatan kering (bulk density)											

Kadar aspal rencana

Gambar 3.3 : Diagram Batang Menampilkan Data Perencanaan dan Pemilihan Kadar Aspal Rencana

### 3.10. Perhitungan Hasil Pengujian

Untuk membuat analisa terhadap hasil pengujian yang sudah dilaksanakan, maka dilakukan perhitungan terhadap data yang sudah diperoleh sebagai berikut :

- 1) Berat jenis kering agregat (Gsb), dipakai Rumus 2.2
- 2) Berat jenis efektif agregat (Gse), dipakai Rumus 2.3 dan Rumus 2.4
- 3) Berat jenis maksimum campuran (Gmm), dipakai Rumus 2.5
- 4) Berat jenis kering "bulk density" campuran beton aspal padat (Gmb)

$$Gmb = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

- Gmb = Berat jenis kering (*bulk density*) campuran beton aspal padat.  
 Bk = Berat benda uji keadaan kering  
 Bj = Berat benda uji keadaan kering permukaan jenuh  
 Ba = Berat benda uji di dalam air

- 5) Rongga diantara mineral agregat (VMA), dipakai Rumus 2.9
- 6) Rongga udara didalam campuran beton aspal padat (VIM), dipakai Rumus 2.10
- 7) Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA), dipakai Rumus 2.11
- 8) Stabilitas Marshall

Karena tebal maupun volume setiap benda uji tidak selalu bisa sama, maka nilai stabilitas yang diperoleh dari pembacaan arloji tekan harus dikalikan dengan angka korelasi stabilitas seperti tampak pada Tabel 3.6 sedangkan nilai stabilitas dihitung berdasarkan persamaan 3.2.

$$SM = S \times K_p \times K_v \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

- SM = Stabilitas Marshall  
 S = Pembacaan arloji tekan  
 Kp = Kalibrasi cincin pengujian (*proving ring*)  
 Kv = Korelasi isi benda uji, (lihat Tabel 3.6)

Tabel 3.6 : Angka Korelasi Stabilitas

Isi benda uji ( cm <sup>3</sup> )	Tebal Benda uji ( mm )	Angka Korelasi	Isi benda uji ( cm <sup>3</sup> )	Tebal Benda uji ( mm )	Angka Korelasi
200 – 213	25,4	5,56	406 – 420	50,8	1,47
214 – 225	27,0	5,00	421 – 431	52,4	1,39
226 – 237	28,6	4,55	432 – 443	54,0	1,32
238 – 250	30,2	4,17	444 – 456	55,6	1,25
251 – 264	31,8	3,85	457 – 470	57,2	1,19
265 – 276	33,3	3,57	471 – 482	58,7	1,14
277 – 289	34,9	3,33	483 – 495	60,3	1,09
290 – 301	36,5	3,03	496 – 508	61,9	1,04
302 – 316	38,1	2,78	509 – 522	63,5	1,00
317 – 328	39,7	2,50	523 – 535	65,1	0,96
329 – 340	41,3	2,27	536 – 546	66,7	0,93
341 – 353	42,9	2,08	547 – 559	68,3	0,89
354 – 367	44,4	1,92	560 – 573	69,9	0,86
368 – 379	46,0	1,79	574 – 585	71,4	0,83
380 – 392	47,6	1,67	586 – 598	73,0	0,81
393 – 405	49,2	1,56	599 – 610	74,6	0,78
406 – 420	50,8	1,47	611 – 625	76,2	0,76

Sumber : SK SNI M-58-1990-03

9) Kelelahan plastis (*flow*)

Angka kelelahan plastis (*flow*) diperoleh dari hasil pembacaan pada arloji pengukur alir (*flow*).

10) Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient* "MQ" )

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots (3.3)$$

11) Stabilitas Marshall Sisa ( RS )

$$RS = \frac{\text{Stabilitas Rendaman}}{\text{Stabilitas Kering}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

### 3.11. Hasil Pengujian

Dari proses persiapan benda uji sampai pengujian Marshall diperoleh data-data sebagai berikut :

- 1) Persen kadar aspal terhadap campuran.
- 2) Berat jenis, dinyatakan dalam satuan ( $\text{gr/cm}^3$ ).
- 3) Stabilitas, dinyatakan dalam satuan (kg).  
Stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan campuran aspal terhadap terjadinya alur (*rutting*) pada perkerasan aspal.
- 4) Kelelehan plastis (*flow*), dinyatakan dalam satuan (mm).  
Kelelehan plastis merupakan indikator terhadap kelenturan campuran perkerasan aspal.
- 5) Rongga didalam campuran beton aspal padat (VIM), merupakan persen rongga dalam campuran padat.  
VIM merupakan indikator terhadap durabilitas (daya tahan) dan terhadap kemungkinan naiknya aspal ke permukaan perkerasan (*bleeding*).
- 6) Rongga diantara mineral agregat (VMA), merupakan persen rongga terhadap agregat campuran.  
VMA bersama dengan VIM merupakan indikator terhadap durabilitas.
- 7) Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*), merupakan hasil bagi stabilitas dengan flow, dinyatakan dalam satuan (kg/mm).  
MQ merupakan indikator kelenturan campuran aspal yang potensial terhadap keretakan.
- 8) Penyerapan aspal, dinyatakan dalam persen terhadap berat.  
Penyerapan aspal merupakan persentase aspal yang diserap agregat sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektif campuran aspal.
- 9) Tebal lapisan selimut aspal (film aspal), dinyatakan dalam *micron* ( $\mu$ ).  
Film aspal merupakan petunjuk tentang sifat durabilitas campuran perkerasan aspal.
- 10) Persen kadar aspal efektif, merupakan persentase aspal yang efektif menyelimuti agregat campuran, tidak termasuk aspal yang diserap agregat.

### 3.12. Analisa dan Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diperoleh maka akan dapat diketahui pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

Adapun pengaruh yang akan dianalisa meliputi :

- 1) Pengaruh variasi agregat kasar *rounded* terhadap sifat-sifat campuran aspal.
- 2) Pengaruh akibat variasi agregat kasar *rounded* dengan memakai kadar aspal yang sama (dipakai kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian tanpa pengaruh agregat kasar *rounded*) terhadap jumlah pemadatan benda uji sebanyak 2x75 tumbukan dengan 2x400 tumbukan.

Dari analisa tersebut di atas akan dapat disimpulkan sejauh mana pengaruh akibat tercampurnya agregat kasar *rounded* terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Bahan Campuran

Bahan campuran aspal beton AC-WC yang digunakan di dalam penelitian ini terdiri dari bahan agregat dan bahan pengikat aspal. Bahan agregat yang digunakan meliputi agregat kasar pecah, agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*), agregat halus yang terdiri dari abu batu dan pasir, serta bahan pengisi (*filler*) dari abu batu.

#### 4.1.1. Sumber Material

- a) Agregat pecah dan filler : Kali Kuto Kabupaten Kendal hasil produksi *stone crusher* PT. ADHI KARYA di Mangkang.
- b) Agregat kasar *rounded* : Kali Kuto *stock pile* PT. ADHI KARYA di Mangkang.
- c) Pasir alam : Muntilan
- d) Aspal : Produksi PT. Pertamina

#### 4.1.2. Pemeriksaan Bahan

Kekuatan lapis perkerasan campuran aspal beton sangat ditentukan oleh mutu bahan penyusunnya, sehingga diperlukan adanya pemeriksaan bahan terlebih dahulu sebelum bahan-bahan tersebut digunakan. Untuk keperluan tersebut, telah dilakukan serangkaian pengujian untuk memeriksa mutu bahan yang akan dipakai untuk campuran aspal beton AC-WC dalam penelitian ini.

Hasil pemeriksaan bahan agregat kasar seperti tercantum di dalam Tabel 4.1, agregat halus dan *filler* seperti tercantum di dalam Tabel 4.2, sedangkan bahan pengikat aspal seperti tercantum di dalam Tabel 4.3. Dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A dan Lampiran B.

Tabel 4.1 : Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian Agregat Kasar						Persyaratan
		Pecah			Rounded			
		1/2"	3/8"	No.4	1/2"	3/8"	No.4	
1. Soundness	SNI-03-3407-1994 (AASHTO T-104-86)	0,16	0,24	0,52	1,1	2,16	3,68	Maks. 12%
2. Index kepipihan / kelonjongan	British Standard (ASTM D-4791-95)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Maks. 10%
3. Abrasi	SNI-03-2417-1991 (AASHTO T-96-87)	19,82		20,15	20,77		25,51	Maks. 40%
4. Kelekatan terhadap aspal ( <i>Striping</i> )	SNI-03-2439-1991 (AASHTO T-182-70)	99			97			Min. 95%
6. Berat jenis semu ( <i>apparent</i> )	PB-0202-76 (AASHTO T-85-77) PB-0203-76 (AASHTO T-84-77)	2,798			2,753			Min. 2,5
7. Gumpalan lempung	AASHTO T-112	0,00			0,00			Maks. 0,25%
8. Absorpsi	(AASHTO T-85-74)	1,268			2,883			Maks. 3%
9. Lolos saringan No.200	SNI M-02-1994-03	0,30			0,00			Maks. 1%

Tabel 4.2 : Hasil Pemeriksaan Agregat Halus dan Filler

Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian			Persyaratan		
		Agregat Halus		Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> )	Agregat Halus		Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> )
		Abu Batu	Pasir		Abu Batu	Pasir	
1. Sand Equivalent	SNI-03-4428-1997 (AASHTO T-176-86)	-	92,22	-	-	Min. 40%	-
2. Berat jenis semu ( <i>apparent</i> )	PB-0202-76 (AASHTO T-85-77) PB-0203-76 (AASHTO T-84-77)	2,801	2,662	2,621	Min. 2,5	Min. 2,5	-
3. Lolos saringan No.200	SNI M-02-1994-03	6,9	2,5	100	-	Maks. 8%	Min. 75%

Tabel 4.3 : Hasil Pemeriksaan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Hasil Pengujian Aspal	Persyaratan Pen 60/70		Satuan
			Min.	Maks.	
1. Penetrasi ( 100 gr, 25°C, 5 detik )	SNI-06-2456-91	62	60	70	0,1 mm
2. Titik lembek ( <i>ring ball</i> )	SNI-06-2434-91	49,5	48	58	°C
3. Titik nyala dan bakar ( <i>Cleveland open cup</i> )	SNI-06-2433-91	301,5	200	-	°C
4. Kehilangan berat (TFOT) (163 °C, 5 jam)	SNI-06-2441-91	0,179	-	0,8	% berat
5. Kelarutan dalam CCL <sub>4</sub>	SNI-06-2438-91	99,324	99	-	% berat
6. Daktilitas ( 100 gr, 25°C, 5 cm/menit )	SNI-06-2432-91	145	100	-	Cm
7. Berat jenis ( 25°C )	SNI-06-2488-91	1,032	1	-	Gr/cm

Dari hasil pemeriksaan bahan seperti tersebut di dalam Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun campuran aspal panas *Asphalt Concrete Wearing Course*, dimana nilai-nilai hasil pemeriksaan bahan tersebut memberikan petunjuk tentang karakteristik bahan sebagai berikut :

- 1) Dari hasil pengujian ketahanan terhadap pelapukan (*soundness test*) diperoleh nilai maksimum pelapukan agregat kasar pecah sebesar 0,52% dan agregat kasar *rounded* sebesar 3,68%. Nilai maksimum pelapukan ini terjadi pada agregat No.4 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hasil nilai *soundness test* yang sangat kecil apabila dibandingkan terhadap nilai yang dipersyaratkan spesifikasi (maks. 12%) menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan sangat baik dan tidak mudah lapuk atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- 2) Agregat kasar baik pecah maupun *rounded* yang digunakan mempunyai indeks kepipihan/kelonjongan 0,00% (Tabel 4.1) sedangkan spesifikasi mensyaratkan maksimum 10%. Indeks kepipihan/kelonjongan 0,00% menunjukkan tidak ada agregat yang berbentuk pipih atau lonjong, sehingga agregat tidak mudah patah akibat beban yang bekerja.
- 3) Dari pengujian abrasi agregat kasar diperoleh nilai maksimum keausan untuk agregat kasar pecah sebesar 20,15 % sedangkan agregat kasar *rounded* sebesar 25,51% (Tabel 4.1) dibawah persyaratan spesifikasi (maks. 40%). Nilai abrasi agregat yang demikian menunjukkan agregat kasar mempunyai nilai kekerasan yang baik sehingga tidak mudah pecah atau hancur akibat beban yang bekerja.
- 4) Kelekatan terhadap aspal diatas 95% yang disyaratkan spesifikasi (Tabel 4.1), hal ini menunjukkan agregat kasar mempunyai daya lekat terhadap aspal yang baik sehingga agregat tidak mudah terlepas di dalam campuran aspal padat.
- 5) Agregat kasar baik pecah maupun *rounded* yang dipakai sangat bersih dari pengaruh gumpalan lempung atau kotoran yang lain seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1 dimana diperoleh nilai gumpalan lempung sebesar 0,00% sedangkan spesifikasi mensyaratkan maksimal 0,25%. Disamping itu agregat pasir yang digunakan juga sangat bersih dari kotoran yang akan merugikan perkerasan campuran beton aspal yang ditunjukkan dari nilai *sand equivalent* (SE) sebesar 92,22% (Tabel 4.2) dibawah persyaratan spesifikasi (maks. 40%). Hasil pengujian terhadap gumpalan lempung dan *sand equivalent* tersebut

menunjukkan tidak adanya pengaruh kotoran yang akan mengurangi kelekatan antara agregat dengan aspal.

- 6) Titik lembek aspal hasil pengujian sebesar  $49,5^{\circ}\text{C}$  mendekati batas bawah spesifikasi (min.  $48^{\circ}\text{C}$  dan maks.  $58^{\circ}\text{C}$ ) menunjukkan bahan aspal sangat rentan menjaga kestabilan perkerasan jalan terhadap peningkatan pemanasan apabila temperatur melampaui titik lembek aspal.

#### 4.1.3. Komposisi Campuran Agregat

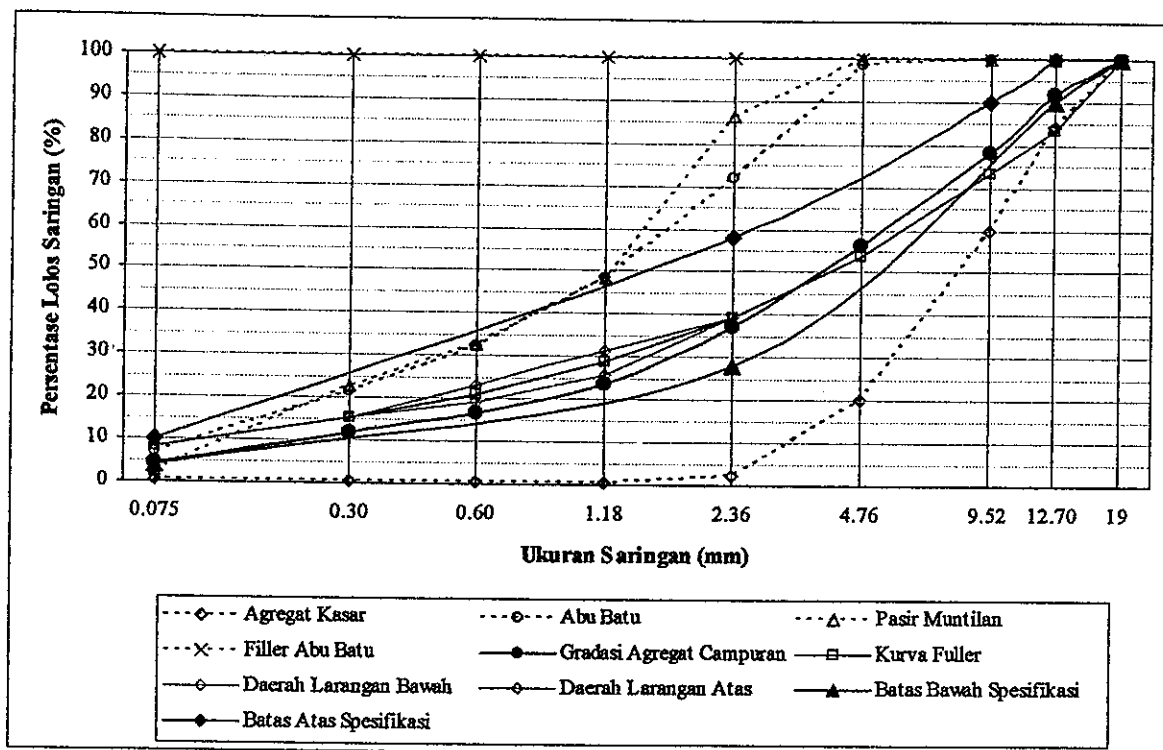
Dari hasil analisa saringan terhadap masing-masing fraksi agregat kasar pecah, abu batu, pasir dan filler, maka diperoleh komposisi (proporsi) campuran agregat sebagai berikut :

- a) Agregat kasar : 54 %  
 b) Agregat halus abu batu : 29 %  
 c) Agregat halus pasir : 15 %  
 d) Filler abu batu : 2 %

Adapun gradasi campuran agregat yang dipakai dalam penelitian ini adalah seperti tercantum pada Tabel 4.4 dan Gambar : 4.1. Sedangkan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C-1.

Tabel 4.4 : Gradasi Agregat Campuran

Ukuran Saringan	Fraksi Agregat ( % Lolos Saringan )					Proporsi Fraksi Agregat ( % Lolos Saringan )				Gradasi Agregat Camp. ( % )	Kurva Fuller ( % )	Spec. ( % )	Daerah Larangan ( % )
	Agregat Kasar	Agregat Halus (FA)		Filler (FF)	Agregat Kasar	Agregat Halus (FA)		Filler (FF)					
		Abu Batu	Pasir			Abu Batu	Pasir						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
ASTM	(mm)	A	B	C	D	A	B	C	D	-	-	-	-
¾"	19	100	100	100	100	54.00	29.00	15.00	2.00	100	100	100	-
½"	12.7	84.4	100	100	100	45.58	29.00	15.00	2.00	91.58	83.42	90 -100	-
3/8"	9.52	59.9	100	100	100	32.35	29.00	15.00	2.00	78.35	73.27	Max. 90	-
No. 4	4.76	20.1	98.7	100	100	10.85	28.62	15.00	2.00	56.48	53.64	-	-
No. 8	2.36	2	72	86.5	100	1.08	20.88	12.98	2.00	36.94	39.12	28 - 58	39.1 - 39.1
No.16	1.18	0.5	48.6	48.5	100	0.27	14.09	7.28	2.00	23.64	28.64	-	25.6 - 31.6
No.30	0.6	0.5	32.2	32.8	100	0.27	9.34	4.92	2.00	16.53	21.12	-	19.1 - 23.1
No.50	0.3	0.4	21.6	22.8	100	0.22	6.26	3.42	2.00	11.90	15.46	-	15.5 - 15.5
No.200	0.075	0.3	6.9	2.5	100	0.16	2.00	0.38	2.00	4.54	8.29	4 - 10	-



Grafik 4.1 : Grafik Gradasi Agregat Campuran AC-Wearing Course

Berdasarkan gradasi agregat campuran (Tabel 4.4) maka dapat ditentukan jumlah pemakaian agregat kasar, agregat halus dan *filler* seperti tampak pada Tabel 4.5. Adapun jumlah agregat kasar *rounded* terhadap total agregat kasar yang diperlukan untuk masing-masing variasi agregat kasar maupun jumlah pemakaian agregat halus dan *filler* abu batu yang digunakan ditunjukkan di dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.5 : Jumlah Pemakaian Fraksi Agregat

Ukuran Saringan		Proporsi Fraksi Agregat (% Lolos Saringan)				% Tertahan Saringan				Pemakaian Fraksi Agregat (gram / mould)			
		Agregat Kasar	Abu Batu	Pasir	Filler (FF)	Agregat Kasar (%)	Abu Batu (%)	Pasir (%)	Filler (FF) (%)	Berat Agregat = 1200 gr/mould			
										Agregat Kasar (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Filler (FF) (gram)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
ASTM	(mm)	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
3/4"	19	54.00	29.00	15.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	12.7	45.58	29.00	15.00	2.00	8.42	-	-	-	101.1	-	-	-
3/8"	9.52	32.35	29.00	15.00	2.00	13.23	-	-	-	158.8	-	-	-
No. 4	4.76	10.85	28.62	15.00	2.00	21.49	0.38	-	-	257.9	4.5	-	-
No. 8	2.36	1.08	20.88	12.98	2.00	9.77	7.74	2.03	-	117.3	92.9	24.3	-
No.16	1.18	0.27	14.09	7.28	2.00	0.81	6.79	5.70	-	9.7	81.4	68.4	-
No.30	0.6	0.27	9.34	4.92	2.00	0.00	4.76	2.36	-	0.0	57.1	28.3	-
No.50	0.3	0.22	6.26	3.42	2.00	0.05	3.07	1.50	-	0.6	36.9	18.0	-
No.200	0.075	0.16	2.00	0.37	2.00	0.05	4.26	3.05	-	0.6	51.2	36.5	-
Pan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.00	0.37	2.00	1.9	24.0	4.5	24.0

Tabel 4.6 : Jumlah Pemakaian Agregat Per Mould

Ukuran Saringan		Pemakaian Fraksi Agregat ( gram / mould )				Pemakaian Agregat Kasar ( gram / mould )									
		Agregat Kasar	Abu Batu	Pasir	Filler Abu Batu	Komb. I		Komb. II		Komb. III		Komb. IV		Komb.V	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
ASTM	(mm)	A	B	C	D	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
						100%	0%	75%	25%	50%	50%	25%	75%	0%	100%
3/4"	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	12.7	101.1	-	-	-	101.1	-	75.8	25.3	50.5	50.5	25.3	75.8	-	101.1
3/8"	9.52	158.8	-	-	-	158.8	-	119.1	39.7	79.4	79.4	39.7	119.1	-	158.8
No. 4	4.76	262.4	-	-	-	262.4	-	196.8	65.6	131.2	131.2	65.6	196.8	-	262.4
No. 8	2.36	-	210.2	24.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.16	1.18	-	91.2	68.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.30	0.60	-	57.1	28.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.50	0.30	-	37.5	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.200	0.075	-	51.8	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pan	-	-	26.0	4.5	24.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : P = Agregat Kasar Pecah  
R = Agregat Kasar Rounded

#### 4.1.4. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Kemampuan campuran aspal untuk menerima beban kendaraan salah satunya ditentukan oleh kekuatan agregat yang menyusun campuran aspal. Kekuatan agregat sendiri sangat ditentukan oleh berat jenisnya.

Berat jenis agregat untuk material agregat yang berbeda akan mempunyai nilai yang berbeda pula, perbedaan ini terletak pada jenis partikel yang menyusun agregat tersebut dan tingkat porositasnya (kadar pori), semakin besar kadar pori suatu agregat maka semakin kecil pula berat jenisnya.

Tingkat porositas suatu agregat dapat diperkirakan dari kemampuan agregat tersebut menyerap air, semakin besar kemampuan agregat menyerap air maka semakin tinggi nilai porositasnya.

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Pengukuran volume agregat dalam proses penentuan berat jenis agregat dilakukan dengan mempergunakan hukum Archimedes, yaitu berat benda di dalam air akan berkurang sebanyak berat zat cair yang dipindahkan. Dengan mengasumsikan berat jenis dan berat volume air adalah selalu sama dengan satu, maka volume agregat sama dengan berat zat cair yang dipindahkan.

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat untuk masing-masing agregat dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A-1 sampai dengan Lampiran A-2. Sedangkan hasil pemeriksaan berat jenis agregat campuran dan penyerapan aspal seperti terlihat didalam Tabel 4.8, dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D-13.

Tabel 4.7 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi Agregat

	Agregat Kasar					Agregat Halus		Filler
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	Abu Batu	Pasir	
Berat jenis <i>bulk</i> (Gsb), gram/cm <sup>3</sup>	2.702	2.666	2.621	2.583	2.550	2.675	2.573	2.621
Berat jenis jenuh (Ssd), gram/cm <sup>3</sup>	2.737	2.702	2.675	2.653	2.624	2.720	2.606	2.621
Berat jenis semu (Gsa), gram/cm <sup>3</sup>	2.798	2.766	2.770	2.777	2.753	2.801	2.662	2.621
Absorpsi (%)	1.268	1.349	2.047	2.715	2.883	1.684	1.292	-

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar Rounded

Tabel 4.8 : Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Campuran dan Penyerapan Aspal

	Agregat Campuran dengan variasi agregat kasar				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
Berat jenis <i>bulk</i> (Gsb), gram/cm <sup>3</sup>	2.672	2.653	2.629	2.608	2.590
Berat jenis <i>apparent</i> (Gsa), gram/cm <sup>3</sup>	2.774	2.757	2.759	2.763	2.750
Berat jenis efektif (Gse), gram/cm <sup>3</sup>	2.723	2.705	2.694	2.685	2.670
Penyerapan Aspal (Pba), %	0.719	0.744	0.946	1.138	1.193

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar Rounded

## 4.2. Hasil Pengujian Campuran Aspal

### 4.2.1. Pengujian Tahap ke-1

Pengujian tahap ke-1 adalah dalam rangka penentuan kadar aspal optimum berdasarkan campuran aspal panas tanpa variasi agregat kasar *rounded* guna menghasilkan campuran aspal panas yang memenuhi persyaratan seperti tercantum pada Tabel 3.3 dengan menggunakan komposisi dan gradasi agregat dalam Tabel 4.4 dan Gambar 4.1.

Kadar aspal optimum yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar acuan pembuatan benda uji dengan berbagai variasi agregat kasar (pecah dan *rounded*).

Sedangkan penentuan kadar aspal optimum (Pb) untuk pembuatan benda uji yang diperlukan diperkirakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan :

CA = Agregat kasar

FA = Agregat halus

FF = Bahan pengisi

Nilai konstanta untuk Laston Aus AC-WC sebesar 0,5 sampai 1,0

Berdasarkan hasil gradasi agregat campuran Tabel 4.4, yang diperoleh dari hasil gabungan komposisi campuran agregat kasar sebesar 54%, agregat halus abu batu sebesar 29%, agregat halus pasir sebesar 15% dan filler abu batu sebesar 2%, diperoleh hasil gradasi agregat campuran yang lolos saringan No.4 sebesar 56,48%, sedangkan agregat yang lolos saringan No.200 sebesar 4,54%. Dengan demikian dapat diketahui persentase agregat yang tertahan saringan untuk agregat kasar (%CA), agregat halus (%FA) dan filler (%FF) sebagai berikut :

$$\% CA = (100 - 56,48) \% = 43,52 \%$$

$$\% FA = (56,48 - 4,54) \% = 51,94 \%$$

$$\% FF = 4,54 \%$$

Dalam penelitian ini nilai konstanta diambil 1,0 sehingga besarnya perkiraan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (43,52) + 0,045 (51,94) + 0,18 (4,54) + 1$$

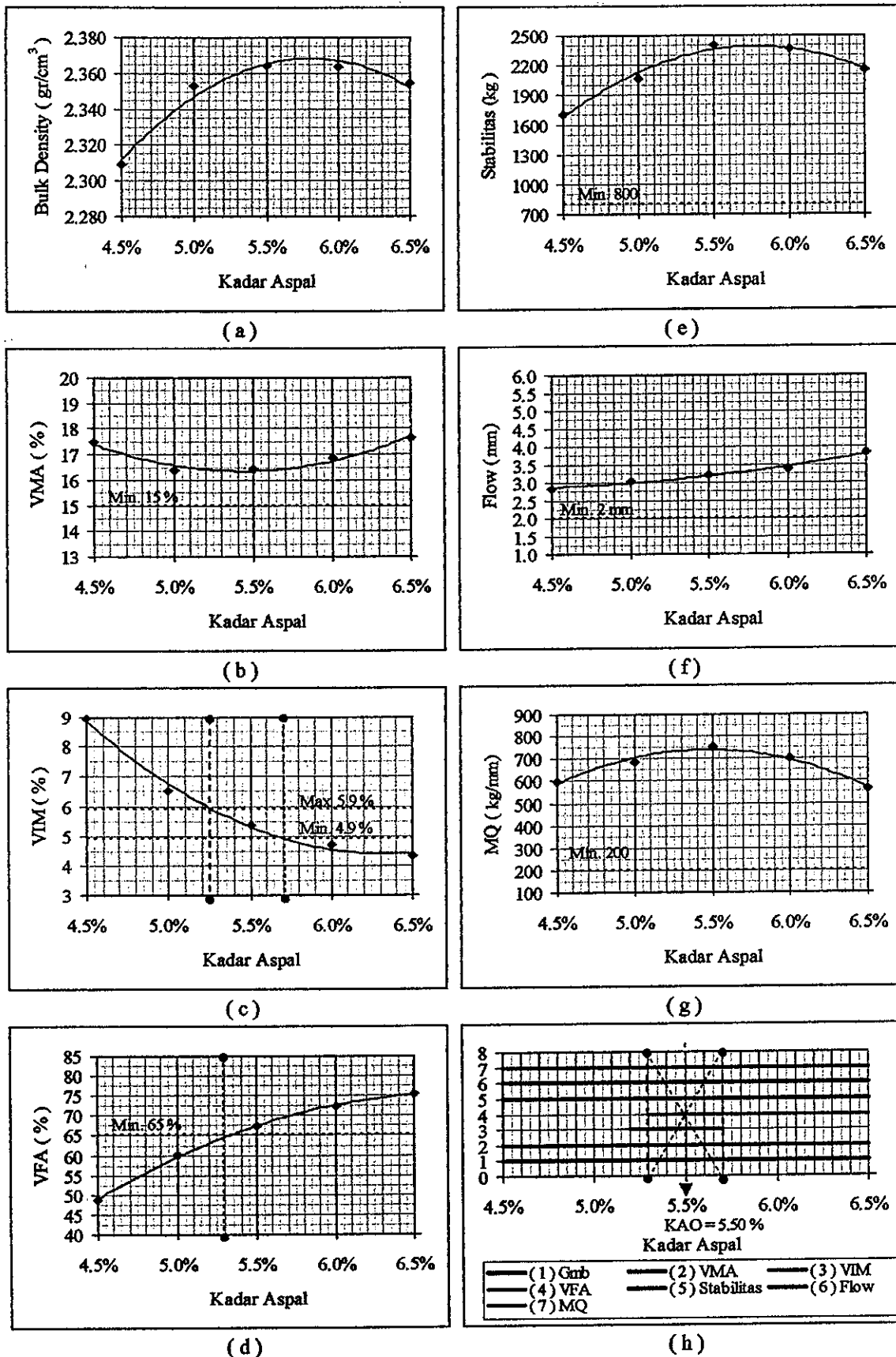
$$Pb = 5,68 \% \sim 5,5 \%$$

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum (Pb = 5,5%) diatas, maka sesuai rencana telah dibuat benda uji dengan 5 (lima) variasi kadar aspal dengan kadar aspal mulai dari 4,5% ; 5,0% ; 5,5% ; 6,0% dan 6,5%. Pembuatan benda uji dilakukan dengan jalan menumbuk campuran sebanyak 2x75 tumbukan. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 4.9 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D-1. Sedangkan hubungan kadar aspal dengan parameter Marshall diperlihatkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4.9 : Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum Tahap ke-1

Kadar Aspal (Pb)	Berat Volume campuran "Bulk Density" (Gmb)	Rongga Udara di dalam mineral agregat (VMA)	Rongga udara di dalam campuran aspal padat (VIM)	Rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA)	Stabilitas	Flow	MQ
(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	( kg )	( mm )	( kg/mm )
4.5	2.309	17.499	8.968	48.771	1701.2	2.84	599.0
5.0	2.353	16.357	6.515	60.171	2070.2	3.04	682.1
5.5	2.364	16.414	5.373	67.268	2405.7	3.20	751.8
6.0	2.363	16.877	4.686	72.236	2362.8	3.38	700.1
6.5	2.354	17.632	4.338	75.398	2150.7	3.83	562.3

Dari analisa berdasarkan Gambar 4.2h, diketahui seluruh parameter aspal yang memenuhi persyaratan terletak pada rentang kadar aspal antara 5,3% - 5,7%. Dalam penelitian ini besarnya kadar aspal optimum diambil berdasarkan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan tersebut sebesar  $(5,3 + 5,7) : 2 = 5,5\%$ .



Gambar 4.2: Hubungan Kadar Aspal dengan Sifat-Sifat Campuran Menggunakan Agregat Kasar 100% Pecah Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).

#### 4.2.2. Pengujian Tahap ke-2

Pengujian tahap ke-2 adalah dalam rangka untuk mengetahui pengaruh agregat kasar tanpa bidang pecah (*rounded*) terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*, dengan memakai variasi kadar aspal yang sama untuk masing-masing variasi agregat kasar.

Sesuai rencana telah dibuat benda uji dengan 4 (empat) variasi kadar aspal dengan kadar aspal mulai dari 5,0% ; 5,5% ; 6,0% dan 6,5%. Pembuatan benda uji dilakukan dengan jalan menumbuk campuran sebanyak 2x75 tumbukan. Hasil pengujian tahap ke-2 ini tercantum di dalam Tabel 4.10 sampai dengan Tabel 4.19 yang menggambarkan hubungan antara variasi pemakaian agregat kasar *rounded* dengan kadar aspal terhadap sifat-sifat campuran dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan. Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D-3 sampai dengan Lampiran D-12.

Tabel 4.10 : Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Tebal selimut aspal dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Tebal Selimut Aspal (Ta)				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )
5.0	10.934	10.874	10.387	9.927	9.795
5.5	12.274	12.214	11.727	11.267	11.135
6.0	13.628	13.569	13.082	12.622	12.489
6.5	14.997	14.938	14.451	13.990	13.858

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Tabel 4.11 : Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Kerapatan kering (*bulk density*) campuran aspal dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Kerapatan Kering "Bulk" (Gmb)				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
5.0	2.356	2.341	2.321	2.306	2.291
5.5	2.367	2.351	2.337	2.326	2.312
6.0	2.370	2.355	2.344	2.335	2.325
6.5	2.360	2.344	2.333	2.328	2.319

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Tabel 4.12 : Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar terhadap Berat jenis maksimum campuran (Gmm) campuran aspal.

Kadar Aspal (Pb)	Berat Jenis Maksimum Campuran "Gmm"				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )
5.0	2.517	2.502	2.493	2.486	2.474
5.5	2.498	2.484	2.475	2.468	2.456
6.0	2.479	2.465	2.457	2.450	2.438
6.5	2.461	2.447	2.439	2.432	2.420

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar Rounded

Tabel 4.13 : Rongga udara diantara mineral agregat (VMA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA)					
	Min.	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	15	16.25	16.19	16.14	16.03	15.97
5.5	15	16.30	16.26	16.00	15.72	15.62
6.0	15	16.64	16.57	16.18	15.83	15.61
6.5	15	17.45	17.40	17.03	16.54	16.29

Tabel 4.14: Rongga udara didalam campuran beton aspal padat (VIM) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Rongga Udara Dalam Campuran Aspal Padat (VIM)						
	Min.	Max.	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	4.9	5.9	6.39	6.45	6.92	7.27	7.39
5.5	4.9	5.9	5.24	5.33	5.57	5.75	5.83
6.0	4.9	5.9	4.41	4.47	4.57	4.67	4.62
6.5	4.9	5.9	4.12	4.21	4.34	4.27	4.19

Tabel 4.15 : Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Rongga Diantara Agregat Butir Yang Terisi Aspal (VFA)					
	Min.	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	65	60.66	60.15	57.14	54.64	53.75
5.5	65	67.83	67.22	65.17	63.45	62.72
6.0	65	73.49	73.02	71.77	70.49	70.41
6.5	65	76.37	75.78	74.54	74.16	74.30



### 4.2.3. Pengujian Tahap ke-3

Pengujian tahap ke-3 merupakan pengujian campuran aspal menggunakan metode kepadatan membal (*refusal*), yaitu benda uji dipadatkan sebanyak 2x400 tumbukan untuk mendapatkan rongga udara didalam campuran (VIM) pada kondisi yang paling minimum.

Pengujian dilakukan terhadap variasi agregat kasar pecah dan *rounded* pada kadar aspal optimum  $P_b = 5,5\%$  yang diperoleh pada pengujian Tahap ke-1. Sesuai rencana telah dilakukan pengujian kepadatan mutlak terhadap 5 (lima) buah variasi agregat kasar pecah dan *rounded*. Masing-masing variasi agregat kasar dibuat 4 (empat) buah benda uji dengan perincian 2 buah benda uji untuk pengujian kering dan 2 buah benda uji untuk pengujian rendaman.

Hasil pengujian tahap ke-3 ini tercantum didalam Tabel 4.20 yang menggambarkan hubungan antara variasi agregat kasar dengan sifat-sifat campuran, dan untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D-13.

Tabel 4.20 : Hasil Pengujian Kepadatan Membal (*Refusal*) dengan jumlah pemadatan 2x400 tumbukan.

Variasi Agregat Kasar (%)	Kadar Aspal (Pb) (%)	Gmb ( $\text{gr/cm}^3$ )	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)		Flow (mm)		MQ (kg/mm)		RS (%)
						(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	
100P+0R	5.5	2.426	14.23	2.90	79.64	2439.0	2379.5	1.71	1.81	1426.3	1318.3	97.56
75P+25R	5.5	2.419	13.85	2.61	81.17	2662.4	2602.6	1.84	2.01	1450.9	1294.8	97.75
50P+50R	5.5	2.412	13.32	2.55	80.83	2751.3	2691.8	2.38	2.41	1158.4	1119.3	97.84
25P+75R	5.5	2.397	13.16	2.88	78.11	2461.3	2401.8	2.48	3.13	994.5	768.6	97.58
0P+100R	5.5	2.380	13.16	3.07	76.64	2268.0	2201.0	2.94	4.00	772.7	550.3	97.05

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

D = *Dry* (Kering)  
S = *Soaked* (Rendaman)

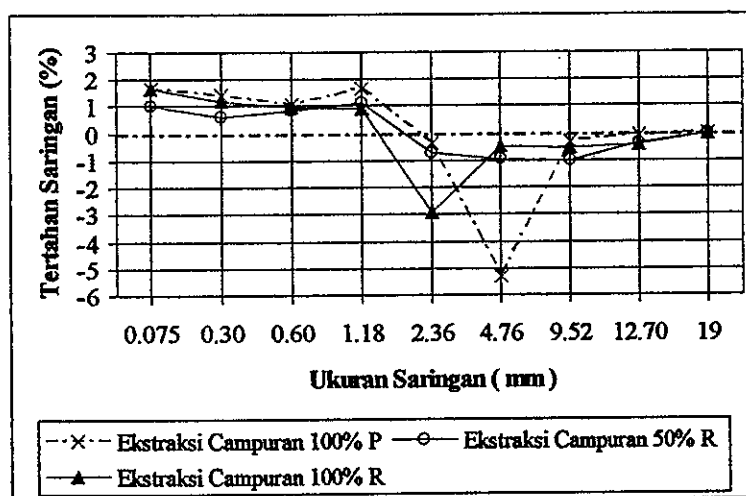
### 4.2.4. Hasil Ekstraksi Benda Uji

Butir-butir agregat di dalam campuran lapis perkerasan aspal adalah berfungsi sebagai kerangka yang akan memikul bagian terbesar dari beban yang bekerja pada konstruksi tersebut. Semakin keras butir-butir agregat penyusunnya dan semakin rapat serta kasar gradasi campuran maka akan diperoleh campuran aspal panas yang memiliki stabilitas yang semakin baik pula, karena apabila butir-butir agregat batuan menjadi pecah saat menerima beban yang bekerja, maka susunan butir-butir batuan akan berubah dengan kata lain gradasi akan menjadi kacau. Disamping itu bidang pecahan baru merupakan titik-titik yang lemah karena bahan pengikat aspalnya akan berkurang bahkan tidak terselimuti aspal.

Untuk mengetahui pengaruh pemadatan sebanyak 400 tumbukan per bidang terhadap gradasi agregat penyusun campuran yang dihasilkan, maka telah dilakukan ekstraksi benda uji campuran beton aspal yang mengandung agregat kasar 100% pecah, 50% *rounded*, dan 100% *rounded*. Hasil ekstraksi benda uji seperti terlihat pada Tabel 4.21, Gambar 4.3 serta Gambar 4.4. Dan hasil selengkapnya dapat dilihat di dalam Lampiran E-1.

Tabel 4.21 : Gradasi Agregat Campuran Hasil Ekstraksi Campuran Aspal Panas AC-WC Setelah Dipadatkan 400 Tumbukan Per Bidang.

Ukuran Saringan		Hasil Ekstraksi Benda Uji Setelah Dipadatkan 400 Tumbukan Per Bidang								Selisih Agregat Yang Tertahan Saringan Setelah Dipadatkan 2x400 Tumbukan Terhadap Agregat Semula		
		(% ) Tertahan				(% ) Lolos						
		Camp. Semula	Campuran Agregat Hasil Ekstraksi			Camp. Semula	Campuran Agregat Hasil Ekstraksi			100%P	50% R	100%R
			100%P	50% R	100%R		Semula	100%P	50% R			
ASTM	(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
3/4"	19	-	-	-	-	100.00	100	100	100	-	-	-
1/2"	12.70	8.42	8.33	8.07	8.00	91.58	91.67	91.93	92.00	-0.09	-0.36	-0.42
3/8"	9.52	13.23	12.93	12.24	12.70	78.35	78.73	79.69	79.29	-0.30	-0.99	-0.53
No. 4	4.76	21.87	16.58	20.90	21.37	56.48	62.15	58.79	57.93	-5.29	-0.97	-0.50
No. 8	2.36	19.54	19.19	18.82	16.63	36.94	42.96	39.97	41.30	-0.35	-0.72	-2.91
No.16	1.18	13.30	14.99	14.44	14.21	23.64	27.97	25.53	27.09	1.69	1.15	0.92
No.30	0.60	7.11	8.18	7.94	8.05	16.53	19.79	17.59	19.04	1.07	0.83	0.94
No.50	0.30	4.63	6.04	5.27	5.82	11.90	13.75	12.33	13.22	1.41	0.64	1.19
No.200	0.075	7.36	9.01	8.41	9.01	4.54	4.74	3.91	4.21	1.65	1.05	1.65
Pan		4.54	4.74	3.91	4.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	-0.63	-0.33
Total		100	100	100	100					0.00	0.00	0.00



Gambar 4.3 : Grafik selisih gradasi agregat campuran yang tertahan saringan, antara gradasi campuran semula terhadap campuran setelah dibebani 400 tumbukan per bidang.

Pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.3 tampak bahwa campuran agregat yang mengandung agregat kasar 100% pecah cenderung mengalami pemecahan yang paling besar pada agregat kasar No.4 (4,76 mm) sebesar 5,29% sedangkan campuran agregat yang mengandung agregat kasar 100% *rounded*, cenderung mengalami pemecahan yang paling besar pada agregat halus No.8 (2,36 mm) sebesar 2,91%, adapun campuran agregat yang mengandung agregat kasar 50% *rounded*, cenderung mengalami pemecahan yang paling besar pada agregat kasar ukuran 3/8" (9,52 mm) sebesar 0,99%.

Berdasarkan Gambar 4.3 juga terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya agregat kasar *rounded* di dalam campuran maka tingkat kehancuran agregat kasar No.4 (4,76 mm) semakin mengecil. Sebaliknya tingkat kehancuran agregat halus No.8 (2,36 mm) semakin meningkat dengan semakin bertambahnya agregat kasar *rounded* di dalam campuran.

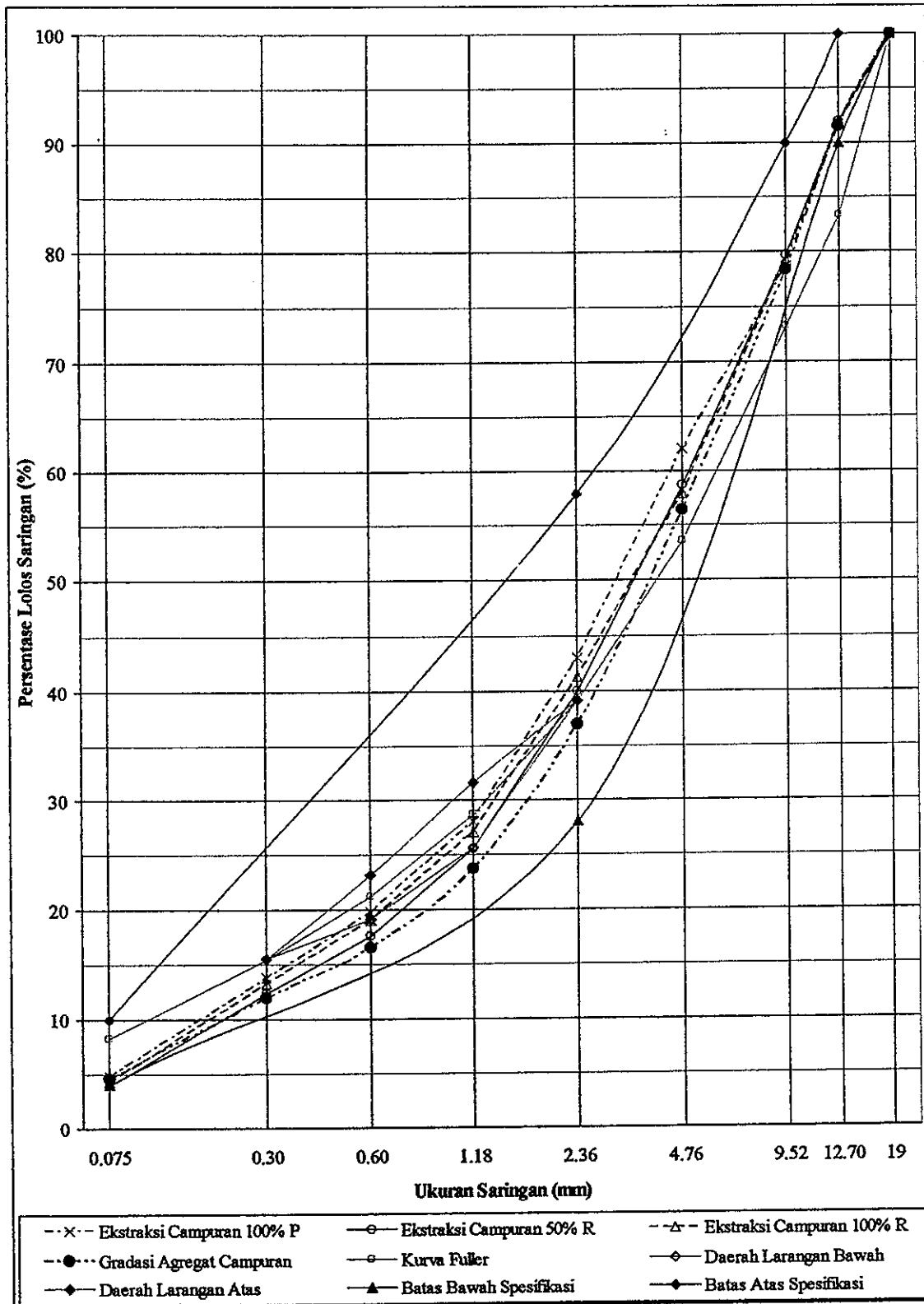
Perilaku hancurnya agregat tidak terlepas dari kemampuan saling mengunci antar agregat di dalam campuran saat dipadatkan. Pada saat campuran hanya terdiri dari agregat pecah yang mempunyai banyak bidang pecah (Gambar 1.1a) maka agregat akan mempunyai sifat saling mengunci antar agregat semakin baik sehingga agregat kasar yang memiliki bidang sudut tajam dimana sudut tajam tersebut cenderung pipih akan mengalami kehancuran akibat gesekan maupun tekanan antar agregat.

Sebaliknya campuran agregat yang mengandung agregat kasar *rounded* semakin banyak dimana karakteristik bentuk agregat *rounded* tidak mempunyai bidang sudut yang tajam dan licin (Gambar 1.1b), maka sifat saling mengunci antar agregat akan semakin menurun dan agregat akan semakin mudah bergerak menyesuaikan kedudukannya pada saat dipadatkan, dengan demikian hancurnya agregat kasar yang terjadi akan cenderung dipengaruhi oleh gesekan antar agregat disamping oleh tekanan antar agregat sendiri.

Pecahnya agregat akibat tumbukan ini mengakibatkan perubahan gradasi campuran, sehingga mengakibatkan gradasi campuran menjadi lebih halus terhadap kondisi semula seperti tampak pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa akibat pemadatan 2x400 tumbukan maka campuran yang mengandung agregat kasar *rounded* 50% memberikan gradasi yang paling kasar dan cenderung diluar batas daerah larangan bagian bawah. Sedangkan campuran yang mengandung agregat kasar pecah 100% memberikan gradasi yang paling halus dan masuk di daerah larangan. Adapun campuran yang mengandung agregat kasar *rounded* 100% memberikan gradasi sedikit lebih halus dibandingkan gradasi yang dihasilkan

campuran yang mengandung agregat kasar *rounded* 50% dan masuk di dalam daerah larangan.



Gambar 4.4 : Grafik gradasi agregat campuran hasil ekstraksi.

### 4.3. Pembahasan

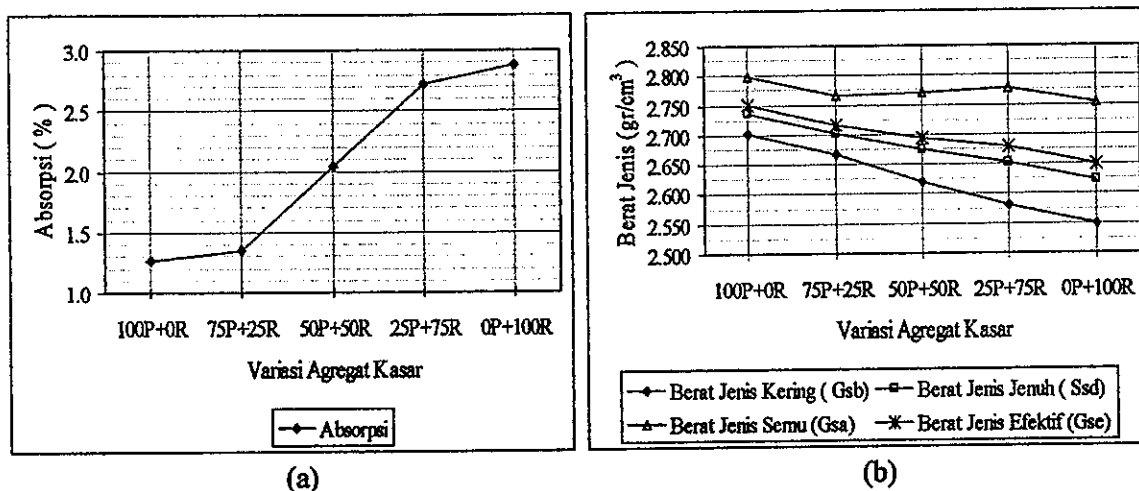
#### 4.3.1. Hubungan Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Berat jenis dan Penyerapan

Berat jenis agregat untuk material agregat yang berbeda akan mempunyai nilai yang berbeda pula, perbedaan ini terletak pada tingkat porositasnya. Semakin besar kadar pori yang ditunjukkan oleh besarnya nilai absorpsi suatu agregat maka semakin kecil pula berat jenisnya. Hubungan variasi agregat kasar *rounded* terhadap berat jenis dan penyerapan dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.22 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

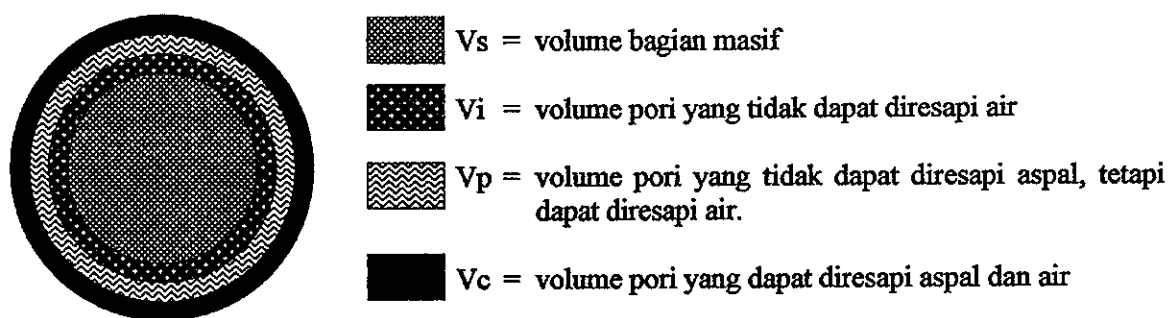
Keterangan	Agregat Kasar				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
Berat jenis <i>bulk</i> Gsb ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.702	2.666	2.621	2.583	2.550
Berat jenis jenuh Ssd ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.737	2.702	2.675	2.653	2.624
Berat jenis semu Gsa ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.798	2.766	2.770	2.777	2.753
Penyerapan (%)	1.268	1.349	2.047	2.715	2.883

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.5 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar *Rounded* dengan : (a) Absorpsi agregat kasar dan (b) Berat jenis agregat kasar.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan, dengan semakin bertambahnya persentase agregat kasar *rounded* terhadap agregat kasar pecah maka nilai absorpsi agregat semakin besar sedangkan nilai berat jenis agregat semakin kecil. Menurut *Asphalt Technology And Construction* hubungan antara nilai penyerapan dengan nilai berat jenis agregat dapat dijelaskan berdasarkan Gambar 4.6 dan persamaan 4.1 sampai dengan persamaan 4.4.



Gambar 4.6 : Skematis bagian dari butir agregat

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa volume agregat terdiri bagian yang masif dan bagian yang berpori, sehingga semakin besar pori-pori di dalam suatu agregat yang ditunjukkan oleh tingkat penyerapannya terhadap air maka agregat tersebut akan mempunyai volume yang semakin besar pada jumlah berat yang sama.

Volume total dari agregat ( $V_s + V_i + V_p + V_c$ ) ditentukan sebagai berat kering permukaan ( $B_j$ ) dikurangi berat dalam air ( $B_a$ ), sedangkan volume agregat yang masif dan yang tidak dapat diresapi air ( $V_s + V_i$ ), ditentukan sebagai berat kering ( $B_k$ ) dikurangi berat dalam air ( $B_a$ ).

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dijelaskan terjadinya hubungan terbalik antara nilai berat jenis dan nilai penyerapan sebagai berikut :

- 1) Berat jenis kering ( $G_{sb}$ ), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering ( $B_k$ ), terhadap seluruh volume agregat ( $V_s + V_i + V_p + V_c$ ).

$$G_{sb} = \frac{B_k}{(V_s + V_i + V_p + V_c)\gamma_a} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (4.1)$$

- 2) Berat jenis kering permukaan (SSD), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering permukaan ( $B_j$ ) yaitu merupakan berat agregat kering ditambah berat air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, terhadap seluruh volume agregat ( $V_s + V_i + V_p + V_c$ ).

$$SSD = \frac{B_j}{(V_s + V_i + V_p + V_c)\gamma_a} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots\dots\dots (4.2)$$

- 3) Berat jenis semu ( $G_{sa}$ ), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering ( $B_k$ ), terhadap volume agregat yang tidak dapat diresapi oleh air ( $V_s + V_i$ ).

$$G_{sa} = \frac{B_k}{(V_s + V_i)\gamma_a} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (4.3)$$

- 4) Berat jenis efektif ( $G_{se}$ ), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering ( $B_k$ ), terhadap volume agregat yang tidak dapat diresapi aspal ( $V_s + V_i + V_p$ ).

$$G_{se} = \frac{B_k}{(V_s + V_i + V_p)\gamma_a} \dots\dots\dots (4.4)$$

Karena nilai penyerapan agregat kasar *rounded* lebih besar dibandingkan nilai penyerapan agregat kasar pecah (Tabel 4.22 dan Gambar 4.5a), maka volume agregat kasar *rounded* lebih besar dibandingkan volume agregat kasar pecah, dengan demikian berdasarkan persamaan 4.1 sampai dengan persamaan 4.4, tampak jelas bahwa semakin besar persentase agregat kasar *rounded* terhadap agregat kasar pecah untuk jumlah berat yang sama akan dihasilkan nilai berat jenis agregat yang semakin kecil (Tabel 4.22 dan Gambar 4.5b).

#### 4.3.2. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Berat Jenis Efektif $G_{se}$ Agregat Campuran dan Berat Jenis Maksimum Campuran ( $G_{mm}$ ).

Berat jenis efektif ( $G_{se}$ ), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, terhadap volume agregat yang tidak dapat diresapi aspal. Sedangkan berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat campuran aspal yang belum dipadatkan dalam keadaan kering, terhadap volume campuran aspal yang belum dipadatkan yang tidak mengandung pori.

Besarnya nilai berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai berat jenis efektif agregat ( $G_{se}$ ).

Hubungan variasi agregat kasar *rounded* terhadap berat jenis efektif agregat campuran ( $G_{se}$ ) dan berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Tabel 4.24, sedangkan untuk memperjelas hubungan antara  $G_{se}$  dengan  $G_{mm}$ , maka nilai di dalam Tabel 4.23 dan Tabel 4.24 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4.23 : Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Campuran

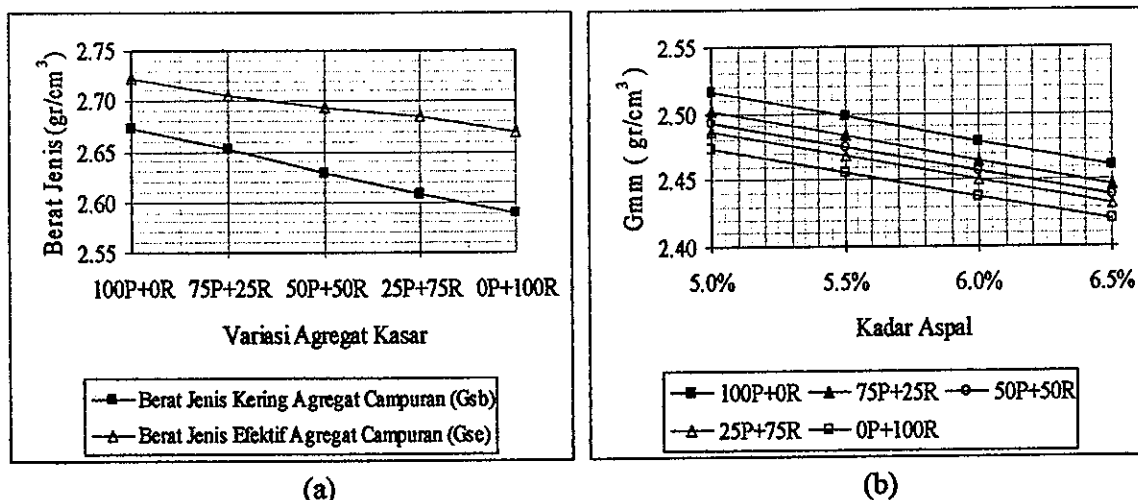
Keterangan	Agregat campuran dengan variasi agregat kasar <i>rounded</i>				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
Berat jenis <i>bulk</i> ( $G_{sb}$ ), gram/cm <sup>3</sup>	2.672	2.653	2.629	2.608	2.590
Berat jenis <i>apparent</i> ( $G_{sa}$ ), gram/cm <sup>3</sup>	2.774	2.757	2.759	2.763	2.750
Berat jenis efektif ( $G_{se}$ ), gram/cm <sup>3</sup>	2.723	2.705	2.694	2.685	2.670

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Tabel 4.24 : Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ).

Kadar Aspal (Pb)	Berat Jenis Maksimum Campuran " $G_{mm}$ "				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )
5.0	2.517	2.502	2.493	2.486	2.474
5.5	2.498	2.484	2.475	2.468	2.456
6.0	2.479	2.465	2.457	2.450	2.438
6.5	2.461	2.447	2.439	2.432	2.420

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Gambar 4.7 : Grafik hubungan antara variasi agregat kasar *rounded* terhadap: (a) Berat jenis agregat campuran dan (b) Berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ).

Gambar 4.7 menunjukkan semakin besar persentase agregat kasar *rounded* didalam campuran beton aspal maka berat jenis efektif ( $G_{se}$ ) dan berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) semakin kecil. Mengecilnya nilai  $G_{se}$  dan  $G_{mm}$  ini dipengaruhi oleh karena agregat kasar *rounded* memiliki nilai absorpsi lebih besar dibandingkan agregat kasar

pecah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.5a. Pengaruh pori-pori dalam agregat sangat mempengaruhi berat jenis karena semakin besar pori yang dikandung agregat menyebabkan volume agregat semakin besar pada berat yang sama sehingga menurunkan nilai berat jenis agregat.

Adapun hubungan antara berat jenis efektif ( $G_{se}$ ) dan berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) dapat diterangkan dengan mendasarkan campuran beton aspal yang belum dipadatkan sebanyak 100 gram, sebagai berikut :

$$100\% \text{ Campuran aspal} = (P_a \%) \text{ Agregat} + (P_b \%) \text{ Aspal}$$

$$\text{Berat campuran aspal} = 100 \text{ gram}$$

$$\text{Berat agregat} = \frac{P_a}{100} \times 100 \text{ gram} = P_a \text{ gram}$$

$$\text{Volume agregat} = \frac{P_a}{G_{se}} \text{ cm}^3$$

Volume agregat di atas menunjukkan volume masif agregat ditambah pori yang tidak dapat diresapi oleh aspal.

$$\text{Berat aspal} = \frac{P_b}{100} \times 100 \text{ gram} = P_b \text{ gram}$$

$$\text{Volume aspal} = \frac{P_b}{G_b} \text{ cm}^3$$

Volume aspal di atas menunjukkan volume aspal yang menyelimuti agregat ditambah volume aspal yang masuk ke dalam pori dari masing-masing agregat.

Jika tidak ada pori yang tersisa di dalam campuran beton aspal yang belum dipadatkan, maka volume campuran beton aspal adalah :

$$V_{mm} = \left( \frac{P_a}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b} \right) \text{ cm}^3 \dots\dots\dots (4.5)$$

Berdasarkan berat 100 gram campuran beton aspal yang belum dipadatkan dan volume pada persamaan 4.5, maka berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_a}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (4.6)$$

Dari persamaan 4.5 dan persamaan 4.6, tampak semakin kecil nilai berat jenis efektif ( $G_{se}$ ) maka volume campuran beton aspal ( $V_{mm}$ ) akan membesar, sehingga berat jenis maksimum campuran ( $G_{mm}$ ) akan mengecil.

#### 4.3.3. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Volume Campuran ( $V_{mb}$ ) dan Kerapatan Campuran ( $G_{mb}$ ), pada pemadatan $2 \times 75$ tumbukan.

Volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ) adalah volume kering campuran beton aspal setelah dipadatkan yang terdiri dari volume kering agregat ( $V_{sb}$ ), tebal selimut aspal ( $V_{FA}$ ) dan sisa rongga udara didalam campuran ( $V_{IM}$ ), dimana volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ) ini akan mempengaruhi tingkat kerapatan kering campuran ( $G_{mb}$ ).

Kerapatan (*density*) campuran menunjukkan besarnya derajat kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Makin tinggi nilai kerapatan berarti campuran tersebut makin padat. Campuran yang mempunyai kerapatan tinggi akan memiliki kekuatan menahan beban lalu lintas lebih tinggi daripada campuran yang kerapatannya rendah.

Kerapatan pada campuran beton aspal padat ( $G_{mb}$ ) adalah perbandingan antara berat kering campuran beton aspal padat dengan volume kering campuran beton aspal padat. Sehingga besarnya volume kering campuran beton aspal padat akan sangat menentukan kerapatan (*density*) campuran. Semakin besar volume kering campuran beton aspal padat, maka untuk berat campuran yang sama akan menghasilkan kerapatan campuran semakin rendah.

Untuk mengetahui hubungan antara nilai kerapatan campuran beton aspal padat ( $G_{mb}$ ) dengan volume kering campuran beton padat ( $V_{mb}$ ) pada berat yang sama pada masing-masing campuran yang mengandung variasi agregat kasar *rounded*, maka perhitungan didasarkan pada berat rata-rata agregat kering berdasarkan hasil ekstraksi yang ditunjukkan pada Lampiran E-1 sebesar 1173,64 gram.

Apabila berat agregat kering di dalam campuran beton aspal adalah  $W_{sb}$  dan kadar aspal sebesar  $P_b\%$ , maka besarnya berat kering (*bulk*) campuran beton aspal padat  $W_{mb}$  dapat dihitung berdasarkan persamaan 4.7 sebagai berikut :

$$W_{mb} = \frac{100 \times W_{sb}}{(100 - P_b\%)} \dots\dots\dots(4.7)$$

Dengan mendasarkan nilai kerapatan (Gmb) yang sudah diperoleh dari hasil pengujian, maka besarnya volume kering campuran beton aspal padat (Vmb) dapat ditentukan dengan persamaan 4.8 sebagai berikut :

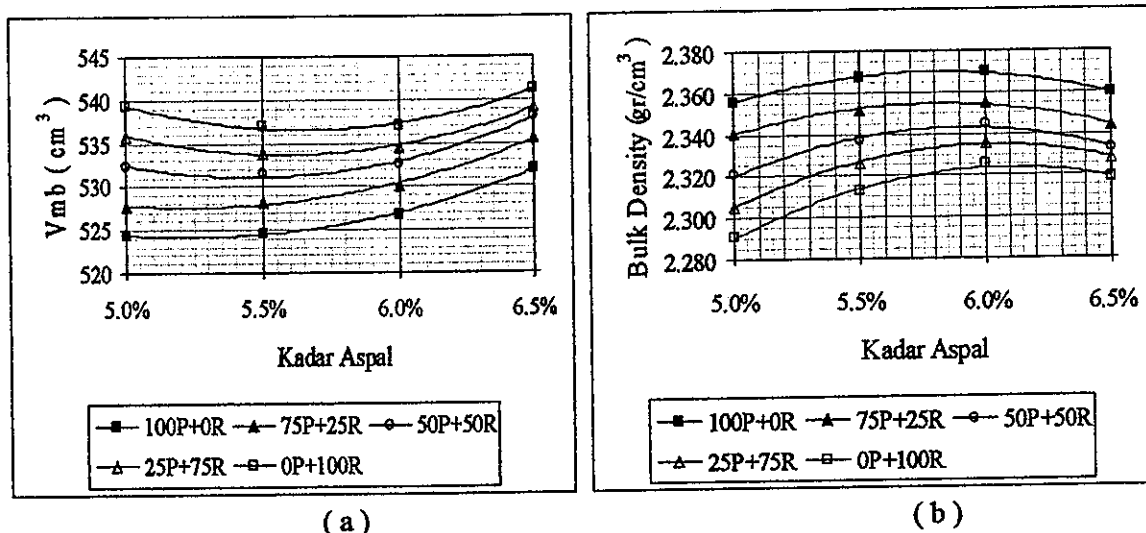
$$Vmb = \frac{Wmb}{Gmb} \dots\dots\dots(4.8)$$

Hubungan antara volume kering campuran beton aspal padat dengan nilai kerapatan akibat pemakaian variasi agregat kasar *rounded* di dalam campuran ditampilkan pada Tabel 4.25, sedangkan untuk memperjelas hubungan antara Vmb dengan Gmb, maka nilai didalam Tabel 4.25 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.8.

Tabel 4.25 : Hubungan Volume Bulk Campuran (Vmb) dengan Kerapatan (Gmb) terhadap pemakaian variasi agregat kasar *rounded* dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan .

Kadar Aspal (Pb)	Berat Bulk Camp. (Wmb)	Kerapatan <i>bulk</i> Benda Uji "Gmb"					Total Volume Bulk Benda Uji "Vmb"				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(gram)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
5.0	1235.4	2.356	2.341	2.321	2.306	2.291	524.36	527.78	532.33	535.84	539.27
5.5	1241.9	2.367	2.351	2.337	2.326	2.312	524.69	528.21	531.47	533.90	537.06
6.0	1248.5	2.370	2.355	2.344	2.335	2.325	526.81	530.17	532.56	534.60	536.98
6.5	1255.2	2.360	2.344	2.333	2.328	2.319	531.98	535.50	538.05	539.14	541.30

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.8 : Grafik hubungan antara variasi agregat kasar *rounded* terhadap : (a) volume *bulk* campuran beton aspal padat (Vmb). (b) Kerapatan kering (*bulk density*) campuran beton aspal padat.

Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa semakin banyak agregat kasar *rounded* di dalam campuran, maka volume campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ) akan semakin besar sedangkan kerapatan kering (*bulk density*) " $G_{mb}$ " akan semakin menurun.

Penurunan nilai kerapatan ini disebabkan oleh karena nilai kerapatan merupakan nilai yang diperoleh dari perbandingan antara berat kering campuran dengan volume kering campuran, maka semakin besar volume kering campuran dengan berat yang sama akan diperoleh nilai kerapatan campuran yang semakin menurun.

Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap nilai kerapatan campuran disebabkan karena agregat kasar *rounded* memiliki karakteristik volume pori yang lebih besar dibandingkan agregat kasar pecah seperti terlihat pada Gambar 4.5a, sehingga menyebabkan volume agregat kasar *rounded* akan lebih besar bila dibandingkan dengan agregat kasar pecah pada berat yang sama. Sehingga semakin besar persentase agregat kasar *rounded* di dalam agregat kasar maka volume pori dalam agregat kasar *rounded* akan semakin memperbesar volume kering campuran aspal padat yang mengakibatkan nilai kerapatan menurun.

#### **4.3.4. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Penyerapan Aspal dan Tebal Selimut Aspal.**

Aspal yang terdapat di dalam beton aspal padat berfungsi sebagai penyelimut butir-butir agregat dan pengisi pori di dalam masing-masing butir agregat. Dengan jumlah aspal dalam campuran beton aspal yang sama banyak, maka agregat yang memiliki pori-pori lebih banyak dapat menyerap aspal akan menghasilkan selimut aspal lebih tipis pada campuran. Hal ini berdampak pada berkurangnya durabilitas (ketahanan) beton aspal. Sebaliknya, jika yang terabsorpsi sedikit maka selimut aspal akan tebal, durabilitas beton aspal lebih baik, tetapi kemungkinan terjadi *bleeding* akan menjadi besar. Hubungan variasi agregat kasar terhadap penyerapan aspal dan tebal selimut aspal dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27, sedangkan untuk memperjelas hubungan antara penyerapan aspal dengan tebal selimut aspal, maka nilai di dalam Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.9.

Tabel 4.26 : Penyerapan Aspal

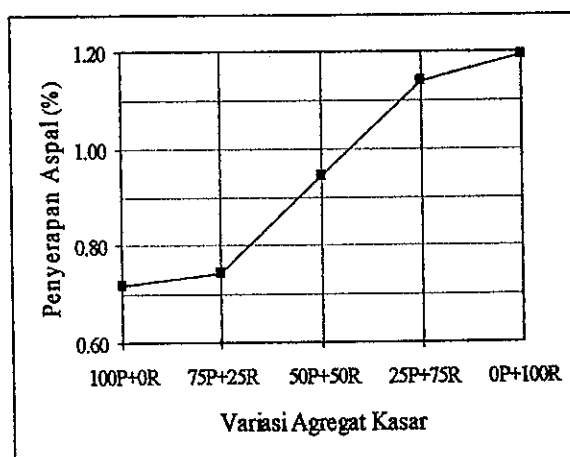
Keterangan	Agregat campuran dengan variasi agregat kasar				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
Penyerapan Aspal (Pba), %	0.719	0.744	0.946	1.138	1.193

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

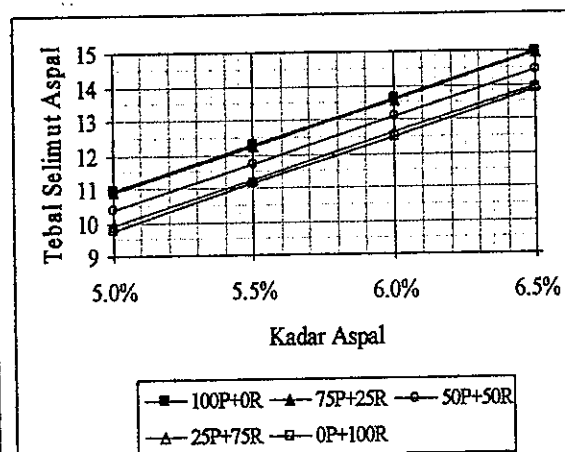
Tabel 4.27 : Tebal selimut aspal

Kadar Aspal (Pb)	Tebal Selimut Aspal "Ta" ( $\mu\text{m}$ )				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
5.0%	10.934	10.874	10.387	9.927	9.795
5.5%	12.274	12.214	11.727	11.267	11.135
6.0%	13.628	13.569	13.082	12.622	12.489
6.5%	14.997	14.938	14.451	13.990	13.858

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



(a)



(b)

Gambar 4.9 : Grafik hubungan antara variasi agregat kasar *rounded* terhadap: (a) Penyerapan aspal dan (b)Tebal selimut aspal.

Gambar 4.9a menunjukkan semakin besar persentase agregat kasar *rounded* didalam campuran beton aspal maka semakin besar daya absorpsi aspal ke dalam campuran yang berakibat selimut aspal semakin tipis pada kadar aspal yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9b. Tebal tipisnya selimut aspal akan mempengaruhi kerapatan (*density*) campuran beton aspal padat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8, yang pada akhirnya mempengaruhi durabilitas (kekuatan) campuran beton aspal padat dalam menerima beban lalu lintas yang lewat.

#### 4.3.5. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap $V_{sb}$ , $V_{mb}$ dan VMA, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) adalah volume kering dari agregat yang terdiri dari volume bagian masif dan semua pori yang ada di dalam masing-masing butir agregat.

Semakin besar pori agregat maka akan diperoleh volume kering agregat yang semakin besar pada berat agregat yang sama. Besarnya persentase volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) terhadap volume kering campuran aspal beton padat ( $V_{mb}$ ) akan sangat menentukan besarnya rongga diantara mineral agregat (VMA).

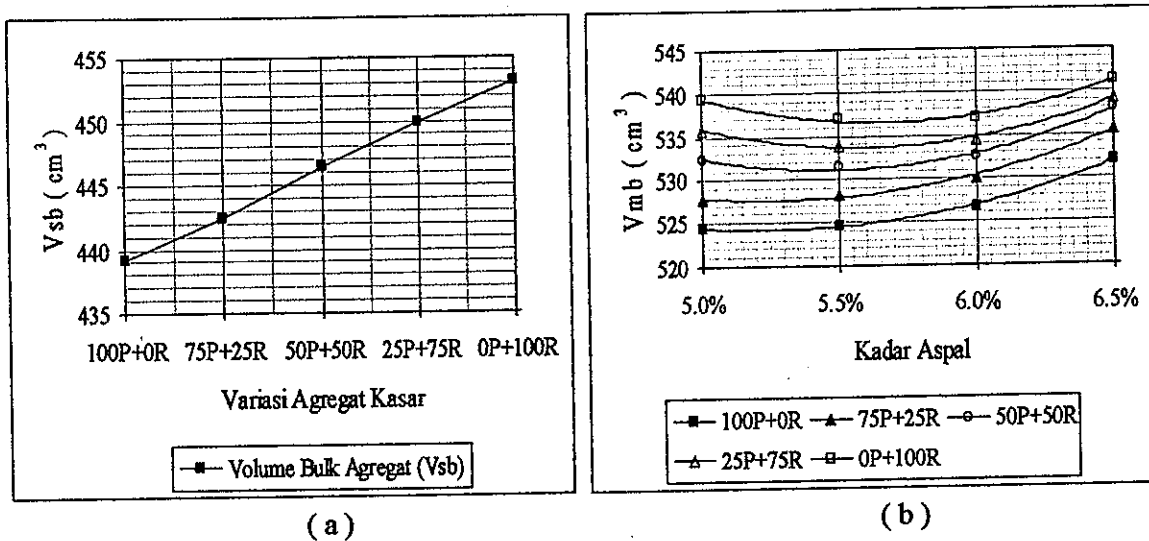
Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah persentase rongga di dalam campuran aspal padat apabila seluruh selimut aspal dihilangkan. VMA merupakan volume rongga yang hanya terdiri dari volume tebal aspal yang menyelimuti agregat (VFA) dan volume rongga udara yang tersisa (VIM) setelah campuran dipadatkan, sedangkan volume pori di dalam masing-masing butir agregat tidak termasuk di dalamnya. VMA dinyatakan terhadap volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ).

Hubungan antara volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) dengan volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.28. Sedangkan untuk memperjelas hubungan antara  $V_{sb}$  dengan  $V_{mb}$ , maka nilai didalam Tabel 4.28 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.10.

Tabel 4.28 : Hubungan Kadar aspal dan Variasi agregat kasar terhadap  $V_{sb}$  dan  $V_{mb}$ , pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Volume kering agregat " $V_{sb}$ "					Total Volume kering campuran aspal " $V_{mb}$ "				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )
5.0	439.17	442.33	446.41	449.97	453.15	524.36	527.78	532.33	535.84	539.27
5.5	439.17	442.33	446.41	449.97	453.15	524.69	528.21	531.47	533.90	537.06
6.0	439.17	442.33	446.41	449.97	453.15	526.81	530.17	532.56	534.60	536.98
6.5	439.17	442.33	446.41	449.97	453.15	531.98	535.50	538.05	539.14	541.30

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.10 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap (a) Volume kering agregat (Vsb) dalam kubikasi. (b) Volume kering campuran beton aspal padat (Vmb) dalam kubikasi.

Gambar 4.10 menunjukkan semakin besar persentase agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal, maka volume kering agregat (Vsb) dan volume kering campuran beton aspal padat (Vmb) akan semakin besar.

Semakin besarnya nilai Vsb dan Vmb ini disebabkan volume pori didalam agregat kasar *rounded* lebih besar dibandingkan agregat kasar pecah yang ditunjukkan oleh besarnya penyerapan pada agregat kasar *rounded* seperti terlihat pada Gambar 4.5a, sehingga menyebabkan volume kering campuran beton aspal padat (Vmb) semakin besar.

Volume kering agregat ini mempunyai harga tetap untuk masing-masing variasi agregat kasar *rounded* di dalam campuran seperti terlihat pada Tabel 4.28.

Karena volume kering agregat campuran merupakan bagian dari volume kering campuran beton aspal padat, dimana volume kering campuran beton aspal padat merupakan volume total campuran beton aspal padat, maka nilai volume kering dapat dinyatakan dalam persen terhadap volume kering campuran beton aspal padat seperti terlihat pada persamaan 4.9, sebagai berikut :

$$Vsb = \frac{Vsb \text{ (cm}^3\text{)}}{Vmb \text{ (cm}^3\text{)}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.9)$$

Sedangkan besarnya persentase rongga diantara mineral agregat (VMA) dapat ditentukan berdasarkan volume Vmb dan Vsb seperti persamaan 4.10 atau dapat juga

ditentukan berdasarkan selisih antara persentase volume total kering campuran (% Vmb) dengan (% Vsb) seperti tampak pada persamaan 4.11 sebagai berikut :

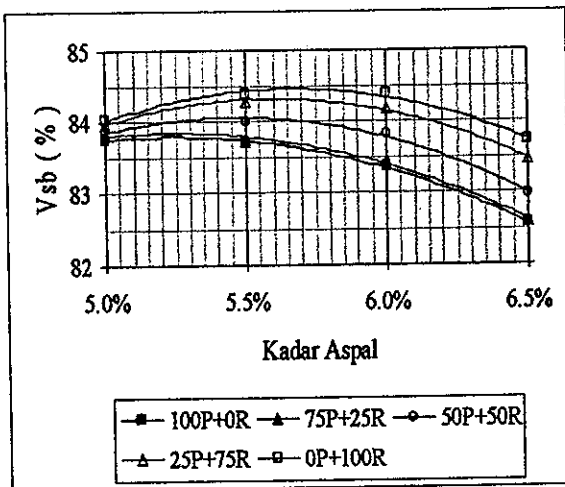
$$VMA = \frac{Vmb - Vsb}{Vmb} \times 100\% \dots\dots\dots (4.10)$$

$$VMA = (Vmb - Vsb)\% \dots\dots\dots (4.11)$$

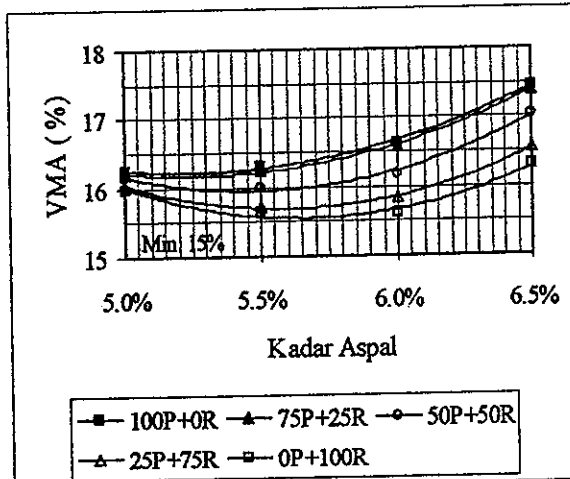
Dari nilai dalam Tabel 4.28, dan berdasarkan persamaan 4.9 sampai dengan persamaan 4.11, maka dapat diperoleh nilai persentase volume kering agregat (Vsb) dan rongga di antara mineral agregat (VMA) terhadap volume kering campuran beton aspal padat (Vmb), seperti terlihat di dalam Tabel 4.29. Sedangkan untuk memperjelas hubungan antara Vsb dengan VMA, maka nilai didalam Tabel 4.29 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.29 : Hubungan antara Volume *bulk* campuran (Vmb) dengan persentase Volume kering agregat (Vsb) dan persentase Rongga di antara mineral agregat (VMA) akibat pengaruh Variasi agregat kasar *rounded*, pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Vmb (%)	Volume kering agregat "Vsb"					Rongga di antara mineral agregat "VMA"				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
5.0	100	83.75	83.81	83.86	83.97	84.03	16.25	16.19	16.14	16.03	15.97
5.5	100	83.70	83.74	84.00	84.28	84.38	16.30	16.26	16.00	15.72	15.62
6.0	100	83.36	83.43	83.82	84.17	84.39	16.64	16.57	16.18	15.83	15.61
6.5	100	82.55	82.60	82.97	83.46	83.71	17.45	17.40	17.03	16.54	16.29



( a )



( b )

Gambar 4.11 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap: (a) Volume kering agregat (Vsb). (b) Volume rongga diantara mineral agregat (VMA).

Gambar 4.11 menunjukkan semakin besar persentase agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal, volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) akan semakin besar sedangkan rongga diantara mineral agregat (VMA) semakin kecil .

Mengecilnya VMA ini disebabkan karena semakin besar persentase agregat kasar *rounded* di dalam campuran, mengakibatkan volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) semakin besar, sehingga di dalam campuran beton aspal padat akan terbentuk rongga-rongga diantara mineral agregat yang semakin mengecil. Berdasarkan persamaan 4.11, tampak bahwa besarnya nilai VMA merupakan selisih antara volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ) dikurangi volume kering agregat ( $V_{sb}$ ). Karena nilai  $V_{mb}$  merupakan volume total campuran beton aspal padat maka besarnya  $V_{mb} = 100\%$ , dengan demikian semakin besar volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) maka nilai VMA akan mengecil.

#### 4.3.6. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Gmm, Vmm, Vmb dan VIM, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Gmm adalah berat jenis maksimum campuran aspal tanpa pori, sedangkan Vmm adalah volume campuran tanpa pori dari campuran beton aspal padat yang meliputi volume kering agregat ( $V_{sb}$ ) dan tebal aspal yang menyelimuti masing-masing agregat, dinyatakan terhadap volume kering campuran beton aspal padat ( $V_{mb}$ ).

Besarnya volume campuran tanpa pori dari beton aspal padat (Vmm) sangat dipengaruhi oleh Gmm, sedangkan besarnya Vmm akan menentukan besarnya rongga udara yang masih tersisa didalam campuran beton aspal padat (VIM).

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapannya terhadap air, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

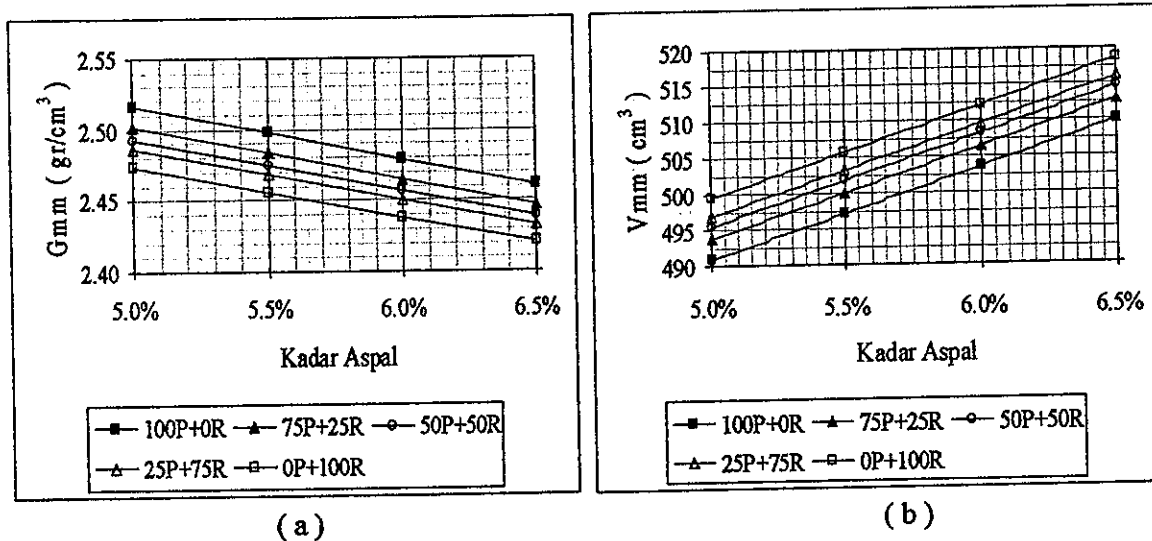
Seperti yang telah diuraikan pada sub bab 4.3.2, maka besarnya berat jenis maksimum campuran (Gmm) sangat dipengaruhi oleh besarnya berat jenis efektif agregat (Gse). Semakin besar berat jenis agregat (Gse) maka berat jenis maksimum campuran (Gmm) juga akan bertambah besar.

Hubungan antara berat jenis maksimum campuran (Gmm) dengan volume tanpa pori campuran beton aspal padat (Vmm) dapat dilihat pada Tabel 4.30. Sedangkan untuk memperjelas hubungan antara Gmm dengan Vmm, maka nilai didalam Tabel 4.30 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.12.

Tabel 4.30 : Hubungan Kadar Aspal dan Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Berat jenis maksimum campuran (Gmm) dan Volume tanpa pori campuran aspal (Vmm).

Kadar Aspal (Pb)	Berat Bulk Camp.	Berat Jenis Maksimum Campuran "Gmm"					Volume Tanpa Pori Campuran Aspal "Vmm"				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(gram)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
5.0	1235.4	2.517	2.502	2.493	2.486	2.474	490.84	493.73	495.51	496.89	499.44
5.5	1241.9	2.498	2.484	2.475	2.468	2.456	497.17	500.06	501.84	503.22	505.77
6.0	1248.5	2.479	2.465	2.457	2.450	2.438	503.58	506.46	508.24	509.62	512.17
6.5	1255.2	2.461	2.447	2.439	2.432	2.420	510.05	512.93	514.71	516.09	518.64

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.12 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap: (a) Berat jenis maksimum campuran (Gmm). (b) Volume campuran tanpa pori (Vmm).

Gambar 4.12, menunjukkan semakin banyak agregat kasar *rounded* tercampur di dalam campuran, maka berat jenis maksimum (Gmm) akan mempunyai nilai yang semakin kecil (Gambar 4.12a), sedangkan volume tanpa pori campuran aspal (Vmm) akan mempunyai nilai yang semakin besar (Gambar 4.12b).

Seperti yang telah diuraikan pada sub bab 4.3.2, besarnya berat jenis maksimum campuran (Gmm) sangat dipengaruhi oleh besarnya berat jenis efektif agregat (Gse), sedangkan besarnya Gse sendiri dipengaruhi oleh volume pori yang dikandung masing-masing butir agregat. Karena agregat kasar *rounded* mengandung volume pori lebih besar dibandingkan agregat kasar pecah, maka berat jenis efektif (Gse) agregat kasar *rounded* akan lebih kecil dibandingkan agregat kasar pecah. Semakin kecil berat jenis agregat (Gse) maka berat jenis maksimum campuran (Gmm) juga akan semakin kecil juga, dengan demikian volume campuran tanpa pori (Vmm) akan semakin besar dan akan mempengaruhi volume rongga udara (VIM) yang tersisa di dalam campuran beton aspal padat.

Karena VIM adalah rongga udara yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan, maka besarnya VIM sangat tergantung pada besarnya volume maksimum campuran tanpa pori (Vmm) setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Dengan demikian besarnya volume rongga udara di dalam campuran beton aspal padat (VIM) dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$VIM = Vmb - Vmm \dots\dots\dots (4.12)$$

Tabel 4.31 : Hubungan Kadar Aspal dengan Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Vmb dan Vmm, pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Berat Bulk Camp.	Volume kering campuran aspal padat "Vmb"					Volume maks. tanpa pori campuran "Vmm"				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(gram)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
5.0	1235.4	524.36	527.78	532.33	535.84	539.27	490.84	493.73	495.51	496.89	499.44
5.5	1241.9	524.69	528.21	531.47	533.90	537.06	497.17	500.06	501.84	503.22	505.77
6.0	1248.5	526.81	530.17	532.56	534.60	536.98	503.58	506.46	508.24	509.62	512.17
6.5	1255.2	531.98	535.50	538.05	539.14	541.30	510.05	512.93	514.71	516.09	518.64

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Karena volume maksimum tanpa pori campuran aspal (Vmm) merupakan bagian dari volume kering campuran beton aspal padat (Vmb), maka besarnya Vmm dapat dinyatakan dalam persen terhadap Vmb sebagai berikut :

$$Vmm = \frac{Vmm (cm^3)}{Vmb (cm^3)} \times 100\% \dots\dots\dots (4.13)$$

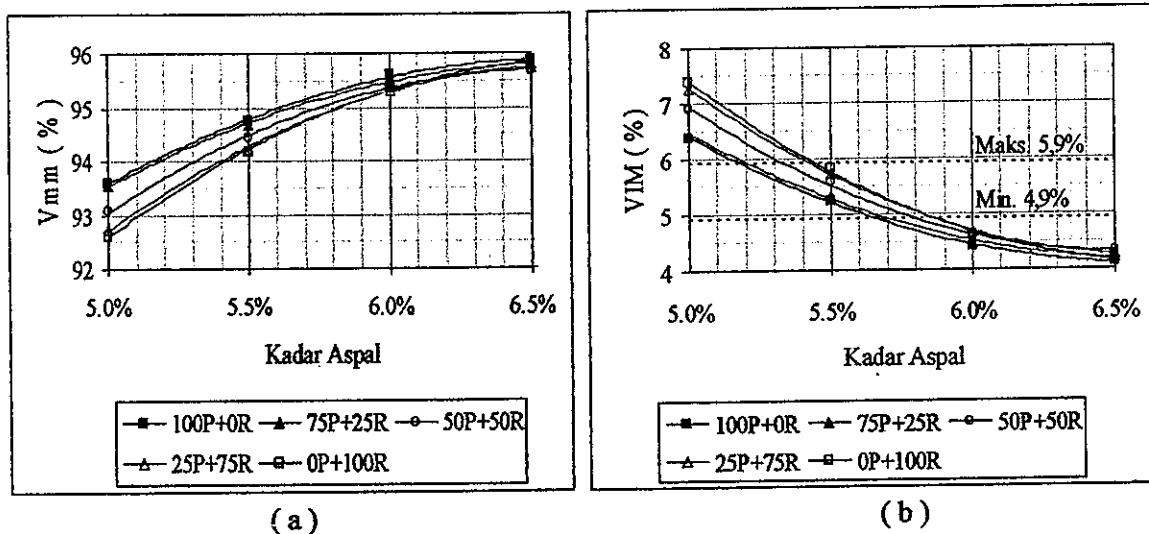
Berdasarkan Tabel 4.31 dan persamaan 4.13, maka persentase volume maksimum tanpa pori campuran beton aspal padat ( $V_{mm}$ ) dapat dihitung seperti tercantum di dalam Tabel 4.32. Adapun hubungan antara volume maksimum tanpa pori campuran beton aspal padat ( $V_{mm}$ ) dengan rongga udara yang tersisa (VIM) setelah campuran beton aspal dipadatkan dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Untuk memperjelas hubungan antara  $V_{mm}$  dengan VIM, maka nilai di dalam Tabel 4.32 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.13.

Tabel 4.32 : Hubungan Kadar Aspal dengan Variasi Agregat Kasar *Rounded* Terhadap  $V_{mb}$ ,  $V_{mm}$  dan VIM, pada jumlah pemadatan  $2 \times 75$  tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	$V_{mb}$	Volume Tanpa Pori Campuran Aspal " $V_{mm}$ "					Rongga Udara Dalam Campuran Aspal " $VIM$ "				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	100	93.61	93.55	93.08	92.73	92.61	6.39	6.45	6.92	7.27	7.39
5.5	100	94.76	94.67	94.43	94.25	94.17	5.24	5.33	5.57	5.75	5.83
6.0	100	95.59	95.53	95.43	95.33	95.38	4.41	4.47	4.57	4.67	4.62
6.5	100	95.88	95.79	95.66	95.73	95.81	4.12	4.21	4.34	4.27	4.19

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.13 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap: (a) Volume campuran tanpa pori ( $V_{mm}$ ). (b) Rongga udara yang tersisa di dalam campuran beton aspal padat (VIM).

Dari Gambar 4.13, menunjukkan semakin bertambah agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal, maka volume maksimum campuran tanpa pori ( $V_{mm}$ ) semakin mengecil sedangkan VIM semakin membesar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai

berikut, karena nilai VIM merupakan selisih antara  $V_{mb}$  dikurangi  $V_{mm}$  (persamaan 4.12) sedangkan nilai  $V_{mb}$  merupakan total volume kering campuran beton aspal padat maka besarnya  $V_{mb} = 100\%$ . Dengan semakin bertambahnya persentase agregat kasar rounded terhadap total agregat kasar di dalam campuran beton aspal padat mengakibatkan persentase  $V_{mm}$  terhadap  $V_{mb}$  semakin mengecil (Tabel 4.32 dan Gambar 4.13a) sehingga berakibat nilai VIM semakin membesar (Tabel 4.32 dan Gambar 4.13b).

#### 4.3.7. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap VFA dan Tebal Selimut Aspal, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA) adalah volume aspal yang menyelimuti butir-butir agregat di dalam campuran beton aspal setelah dipadatkan, dinyatakan terhadap VMA. Sedangkan aspal yang terserap oleh masing-masing agregat tidak termasuk di dalam VFA.

Besarnya VFA sangat dipengaruhi oleh volume pori yang dikandung oleh masing-masing butir agregat penyusun campuran beton aspal, semakin besar volume pori maka tingkat penyerapan agregat terhadap aspal akan semakin besar yang mengakibatkan tebal aspal yang menyelimuti agregat akan semakin berkurang (Tabel 4.27 dan Gambar 4.9b), sehingga nilai VFA akan berkurang.

Nilai rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

Tabel 4.33 : Hubungan Kadar Aspal dengan Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap VMA dan VIM, pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

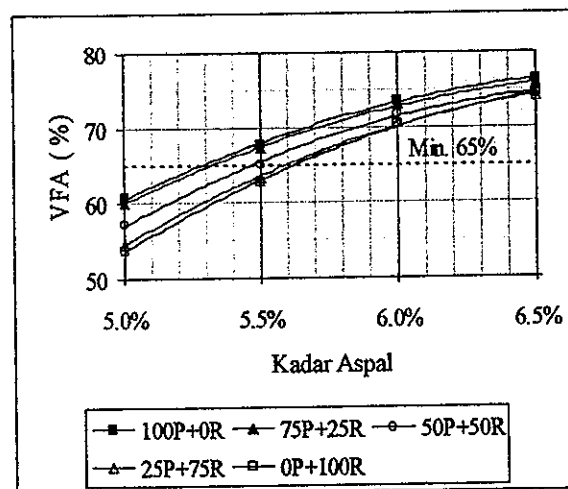
Kadar Aspal (Pb)	Rongga di antara mineral agregat "VMA"					Rongga Udara Dalam Campuran Aspal "VIM"				
	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	16.25	16.19	16.14	16.03	15.97	6.39	6.45	6.92	7.27	7.39
5.5	16.30	16.26	16.00	15.72	15.62	5.24	5.33	5.57	5.75	5.83
6.0	16.64	16.57	16.18	15.83	15.61	4.41	4.47	4.57	4.67	4.62
6.5	17.45	17.40	17.03	16.54	16.29	4.12	4.21	4.34	4.27	4.19

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

Berdasarkan nilai di dalam Tabel 4.33 dan menggunakan persamaan 4.14, maka besarnya rongga di antara butir agregat yang terisi aspal (VFA) dapat diketahui seperti ditampilkan pada Tabel 4.34. Untuk memperjelas pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap VFA, maka nilai di dalam Tabel 4.34 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.14.

Tabel 4.34 : Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA)					
	Min.	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	65	60.66	60.15	57.14	54.64	53.75
5.5	65	67.83	67.22	65.17	63.45	62.72
6.0	65	73.49	73.02	71.77	70.49	70.41
6.5	65	76.37	75.78	74.54	74.16	74.30



Gambar 4.14 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap Rongga di antara agregat yang terisi aspal (VFA).

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh variasi agregat kasar *rounded* terhadap rongga terisi aspal (VFA) yang semakin mengecil apabila agregat kasar *rounded* semakin banyak. Hal ini disebabkan dengan makin banyaknya agregat kasar *rounded*, mengakibatkan agregat kasar di dalam campuran menyerap aspal lebih banyak (Gambar 4.9a) sehingga tebal aspal yang menyelimuti agregat semakin berkurang (Gambar 4.9b). Semakin berkurangnya tebal selimut aspal pada agregat yang menyusun campuran beton aspal, menyebabkan rongga yang ada di dalam campuran akan terisi aspal (VFA) semakin sedikit, dan mengakibatkan rongga udara yang tersisa setelah pemadatan (VIM) menjadi besar (Gambar 4.13b).

Adapun hubungan antara VFA dengan tebal selimut aspal ( $T_a$ ) dapat dijabarkan menggunakan persamaan 4.15 sampai dengan persamaan 4.21, sebagai berikut :

$$V_a = \frac{P_b \times W_{sb}}{(100 - P_b) \times G_b} \dots\dots\dots (4.15)$$

$$V_{ab} = \frac{P_{ba} \times W_{sb}}{G_b} \dots\dots\dots (4.16)$$

$$VFA = V_a - V_{ab} \dots\dots\dots (4.17)$$

$$P_{be} = \frac{VFA \times G_b}{W_{mb}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.18)$$

$$T_a = \frac{P_{be} \times 1000}{A \times G_b \times (100 - P_b)} \dots\dots\dots (4.20)$$

$$T_a = \frac{VFA \times 1000}{A \times W_{mb} \times (1 - P_b\%)} \dots\dots\dots (4.21)$$

Keterangan :

- $V_a$  = Volume total aspal di dalam campuran beton aspal padat ( $\text{Cm}^3$ )
- $P_b$  = Kadar aspal di dalam campuran beton aspal padat ( % )
- $W_{sb}$  = Berat kering agregat di dalam campuran beton aspal padat (gram)
- $G_b$  = Berat jenis aspal ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )
- $V_{ab}$  = Volume aspal yang terserap oleh agregat ( $\text{Cm}^3$ )
- $P_{ba}$  = Penyerapan aspal oleh agregat (%)
- $VFA$  = Volume rongga di antara agregat yang terisi aspal ( $\text{Cm}^3$ )
- $P_{be}$  = Kadar aspal efektif di dalam campuran beton aspal padat (%)
- $W_{mb}$  = Berat kering campuran beton aspal padat (gram)
- $T_a$  = Tebal selimut aspal ( $\mu\text{m}$ )
- $A$  = Luas permukaan agregat ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )

Pada persamaan 4.21 menunjukkan tebal selimut aspal ( $T_a$ ) merupakan harga yang diperoleh dari perbandingan antara VFA terhadap luas permukaan agregat ( $A$ ). Karena nilai luas permukaan agregat ( $A$ ) mempunyai nilai tetap sesuai persentase lolos nomor saringan agregat kasar yang dipakai di dalam campuran beton aspal padat (Lampiran C-8), maka semakin banyak aspal yang mengisi rongga di antara agregat (VFA), akan diperoleh tebal selimut aspal ( $T_a$ ) yang semakin tebal pula seperti ditunjukkan pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37.

Tabel 4.35 : Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap : Volume total aspal di dalam campuran beton aspal padat "Va" pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Berat Jenis Aspal (Gb)	Berat Kering Agregat Campuran "Wsb"	Berat Kering Campuran Beton Aspal Padat "Wmb"	Volume Total Aspal "Va"				
				100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
	(gram/cm <sup>3</sup> )	(gram)	(gram)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
5.0%	1.032	1173.64	1235.4	59.86	59.86	59.86	59.86	59.86
5.5%	1.032	1173.64	1241.9	66.19	66.19	66.19	66.19	66.19
6.0%	1.032	1173.64	1248.6	72.59	72.59	72.59	72.59	72.59
6.5%	1.032	1173.64	1255.2	79.06	79.06	79.06	79.06	79.06

Tabel 4.36: Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap : Volume aspal yang terserap agregat (Vab) dan Volume rongga di antara agregat yang terisi aspal (VFA) pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Berat Kering Agregat Camp. "Wsb"	Volume Aspal Yang Terserap Agregat "Vab"					VFA				
		100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
	(gram)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )
5.0%	1173.64	8.18	8.46	10.76	12.94	13.56	51.68	51.39	49.09	46.92	46.29
5.5%	1173.64	8.18	8.46	10.76	12.94	13.56	58.01	57.73	55.43	53.25	52.63
6.0%	1173.64	8.18	8.46	10.76	12.94	13.56	64.41	64.13	61.83	59.65	59.03
6.5%	1173.64	8.18	8.46	10.76	12.94	13.56	70.88	70.60	68.30	66.12	65.50

Tabel 4.37: Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap : Kadar aspal efektif (Pbe) dan Tebal selimut aspal (Ta) pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Berat Kering Camp. Aspal "Wmb"	Faktor Luas Permukaan "A"	Kadar Aspal Efektif (Pbe)					Tebal Selimut Aspal (Ta)				
			100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
	(gram)	(m <sup>2</sup> /kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
5.0%	1235.4	4.027	4.317	4.293	4.101	3.919	3.867	10.934	10.874	10.387	9.927	9.795
5.5%	1241.9	4.027	4.820	4.797	4.606	4.425	4.373	12.274	12.214	11.727	11.267	11.135
6.0%	1248.6	4.027	5.324	5.301	5.110	4.931	4.879	13.628	13.569	13.082	12.622	12.489
6.5%	1255.2	4.027	5.828	5.804	5.615	5.436	5.385	14.997	14.938	14.451	13.990	13.858

#### 4.3.8. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Stabilitas Marshall, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

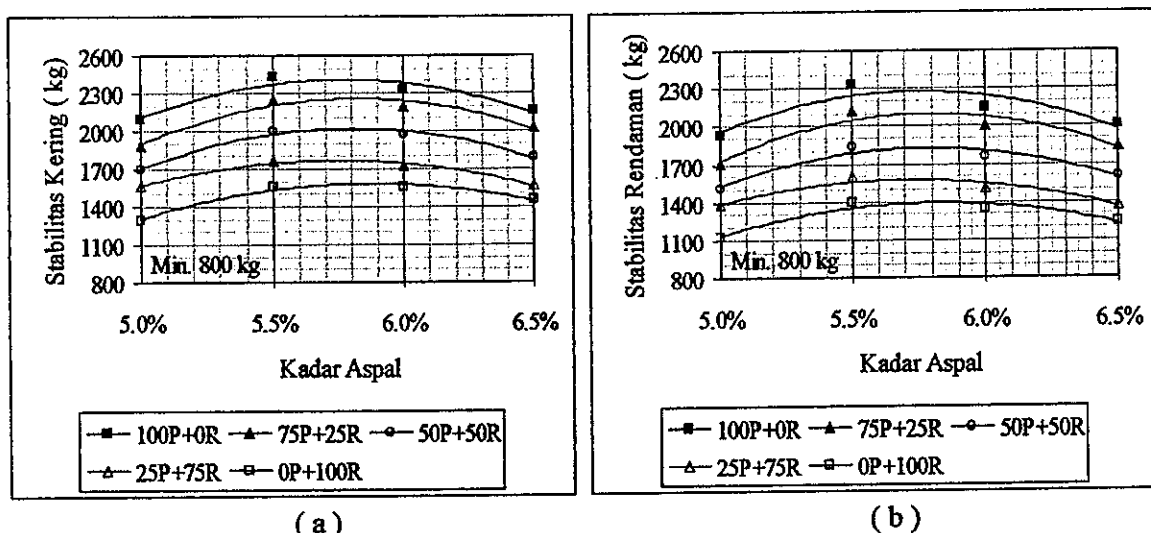
Pengujian nilai stabilitas adalah untuk menguji kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan lapis perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak, sebaliknya nilai stabilitas yang terlalu rendah menyebabkan lapis perkerasan mempunyai plastisitas semakin tinggi dan mengakibatkan perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur (*rutting*) dan *bleeding*, ini berarti nilai stabilitas berpengaruh terhadap kelenturan lapis perkerasan yang dihasilkan, dimana nilai stabilitas naik akan menurunkan nilai fleksibilitasnya dan sebaliknya.

Tabel 4.38 : Stabilitas Marshall dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Stabilitas										
	Min.	100P+0R		75P+25R		50P+50R		25P+75R		0P+100R	
		(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)
(%)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
5.0	800	2091.6	1932.5	1884.6	1706.1	1700.8	1513.4	1563.3	1376.8	1300.1	1127.2
5.5	800	2427.1	2334.3	2248.6	2119.8	1998.8	1834.6	1763.2	1602.6	1562.9	1392.0
6.0	800	2327.2	2148.7	2198.7	2005.9	1977.4	1756.1	1728.9	1507.6	1552.6	1342.0
6.5	800	2157.4	2003.2	2027.3	1841.7	1791.1	1601.7	1567.1	1376.2	1452.2	1244.8

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

D = *Dry* (Kering)  
S = *Soaked* (Rendaman)



Gambar 4.15 : Grafik pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap : (a) Nilai stabilitas kering, (b) Nilai stabilitas rendaman.

Gambar 4.15 menunjukkan semakin banyak agregat kasar *rounded* di dalam campuran, mengakibatkan nilai stabilitas kering (Gambar 4.15a) maupun stabilitas rendaman (Gambar 4.15b) akan semakin kecil. Turunnya nilai stabilitas ini disebabkan :

- 1) Semakin banyak agregat kasar *rounded* maka campuran semakin berongga seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13b, yang menyebabkan nilai kerapatan campuran semakin kecil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8b, dengan semakin rendahnya nilai kerapatan maka stabilitas campuran akan menurun.
- 2) Bidang pertemuan antar agregat dengan agregat kasar *rounded* hanya merupakan bidang singgung saja dan kecenderungan agregat kasar *rounded* memiliki permukaan yang licin (Gambar 1.1b).

Rongga-rongga udara yang ada di dalam campuran beton aspal merupakan titik-titik lemah bagi struktur perkerasan beton aspal untuk menerima beban lalu lintas. Semakin campuran beton aspal berongga maka kemampuan perkerasan aspal untuk menerima beban lalu lintas akan menurun, sehingga nilai stabilitasnya akan semakin turun pula.

Disamping karena pengaruh rongga udara di dalam campuran (VIM), maka turunnya nilai stabilitas dengan semakin banyaknya agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal juga disebabkan karena pertemuan antara agregat kasar *rounded* dengan butiran agregat penyusun campuran lainnya hanya merupakan titik singgung saja, karena agregat *rounded* merupakan agregat yang tidak mempunyai bidang sudut yang tajam atau cenderung berbentuk bulat (Gambar 1.1b). Pertemuan antar butiran agregat yang demikian menyebabkan kedudukan butiran di dalam campuran beton aspal padat menjadi berkurang kestabilannya dan mudah bergeser. Dengan demikian semakin banyak agregat kasar *rounded* di dalam campuran menyebabkan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang, yang berakibat semakin turunnya stabilitas campuran.

Pada Gambar 4.15 juga menunjukkan semakin besar kadar aspal ditambahkan di dalam campuran menyebabkan nilai stabilitas pada masing-masing variasi agregat kasar mengalami kenaikan sampai mencapai nilai yang maksimum kemudian nilai stabilitas kembali menurun. Hal ini disebabkan ketika kadar aspal yang berada di dalam campuran relatif sedikit, mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat menjadi cukup tipis dan kurang mampu memberikan bidang gelincir bagi agregat untuk bergeser guna saling mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Kurangnya kemampuan untuk bergeser menyebabkan rongga-rongga diantara butir agregat tidak bisa terisi secara optimal oleh

agregat yang mengakibatkan kurangnya kemampuan saling mengunci (*interlocking*) butir agregat penyusun campuran perkerasan.

Dengan semakin menambah kadar aspal ke dalam campuran maka agregat akan lebih mudah bergeser untuk saling mengisi rongga-rongga yang ada sehingga kerapatan akan naik dan stabilitas semakin meningkat sampai dicapai nilai yang optimum. Kemudian ketika kadar aspal semakin diperbesar maka nilai kerapatan dan nilai stabilitas campuran kembali menurun yang diakibatkan oleh kedudukan butir-butir agregat akan semakin saling menjauhi karena dipisahkan oleh aspal yang semakin tebal menyelimuti agregat. Semakin tebalnya aspal yang menyelimuti agregat setelah tercapainya nilai stabilitas yang optimum mengakibatkan kerapatan agregat akan menurun dan agregat semakin mudah menggelincir sehingga stabilitas akan kembali menurun.

Nilai stabilitas diuji pada kondisi kering dan rendaman, dengan maksud untuk mengetahui kemampuan lapis perkerasan menahan beban lalu lintas pada kondisi normal (kering) dan pada kondisi adanya gangguan air yang terus menerus. Karena akibat perendaman air yang terus menerus, aspal yang telah melekat pada agregat dimungkinkan akan terlepas. Dengan terlepasnya sebagian aspal dari permukaan agregat, maka air akan terserap dan menyelimuti agregat, sehingga kekompakan dari kelompok agregat akan berkurang yang pada akhirnya akan mengurangi stabilitas dari lapis perkerasan.

Tampak pada Gambar 4.15, stabilitas rendaman akan mempunyai nilai yang lebih kecil dari stabilitas kering untuk masing-masing variasi agregat kasar *rounded* yang dipakai di dalam campuran. Lebih kecilnya nilai stabilitas rendaman ini disebabkan pada saat benda uji direndam di dalam air pada temperatur 60°C selama 24 jam secara terus menerus mengakibatkan kekentalan aspal mengalami penurunan akibat temperatur, dengan kata lain aspal mulai melunak, hal ini tidak terlepas dari nilai titik lembek aspal seperti diuraikan pada sub.bab 4.1.2(6) dimana aspal yang digunakan mempunyai nilai titik lembek 49,5°C mendekati batas minimum spesifikasi (min. 48°C dan maks. 58°C). Melunaknya lapisan aspal menyebabkan sebagian selimut aspal pada agregat akan mengalir yang mengakibatkan terlepasnya sebagian aspal dari permukaan agregat. Permukaan agregat yang tidak terselimuti aspal menyebabkan air akan meresap dan menyelimuti agregat, sehingga ikatan antar agregat oleh aspal akan melemah yang menyebabkan turunnya nilai stabilitas.

#### 4.3.9. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Kelelahan Plastis, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

Kelelahan plastis merupakan besarnya deformasi vertikal bahan susun yang terjadi pada awal pembebanan sampai stabilitas menurun atau campuran mengalami keruntuhan. Kelelahan plastis menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima.

Nilai kelelahan plastis yang rendah menunjukkan campuran cenderung bersifat kaku dan getas, sebaliknya nilai kelelahan plastis yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis atau lentur dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas.

Nilai kelelahan plastis dipengaruhi oleh kadar aspal, temperatur, gradasi agregat, bentuk agregat, dan jumlah energi pemadatan (*compaction*), sebagai berikut :

- 1) Aspal adalah bahan yang termoplastis yang di dalam campuran berfungsi sebagai bahan pengikat antar butiran, pengisi pori-pori butir agregat dan sebagai bahan pelumas permukaan butir agregat. Dengan bertambahnya kadar aspal, membuat butir-butir agregat semakin terikat kuat dan memberikan bidang gelincir yang semakin besar yang mengakibatkan agregat akan mudah bergeser. Ketika campuran diberi beban maka campuran mengalami kenaikan deformasi sebanding dengan penambahan kadar aspal.
- 2) Karena aspal merupakan material yang termoplastis yaitu melunak dan menjadi cair bila dipanaskan dan kental kembali menjadi padat jika didinginkan kembali, maka kelelahan plastis akan meningkat apabila campuran beton aspal dipanaskan karena aspal akan semakin lunak setelah pemanasan melebihi titik leleh aspal.
- 3) Semakin rapat gradasi agregat penyusun campuran maka sifat saling mengunci (*interlocking*) antar butiran semakin kuat sehingga agregat tidak mudah bergerak dan tidak mudah mengalami deformasi vertikal.
- 4) Permukaan butiran yang licin menyebabkan agregat mudah bergeser, sehingga campuran akan mudah mengalami deformasi vertikal pada saat diberi beban.
- 5) Butir agregat yang tidak mempunyai bidang sudut yang tajam menyebabkan butir agregat mudah bergerak, karena bidang pertemuan antar butiran hanya merupakan titik singgung saja, sehingga kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang yang menyebabkan agregat mudah bergeser dan campuran mudah mengalami deformasi vertikal pada saat diberi beban.

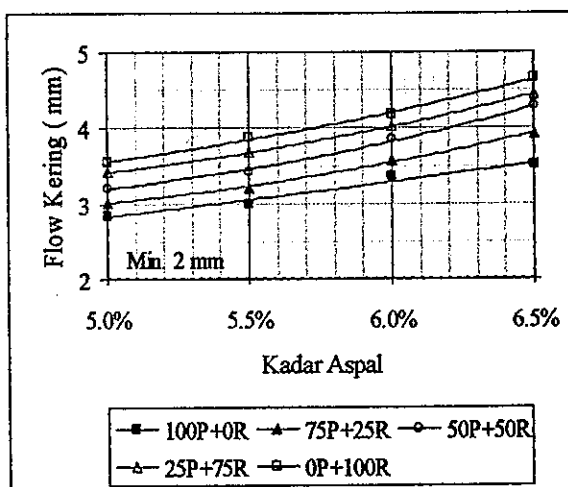
- 6) Semakin banyak jumlah energi pemadatan (*compaction*) akan membuat campuran semakin rapat, sehingga deformasi vertikal pada saat dibebani akan semakin kecil.

Tabel 4.39 : Kelelahan plastis (*flow*) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

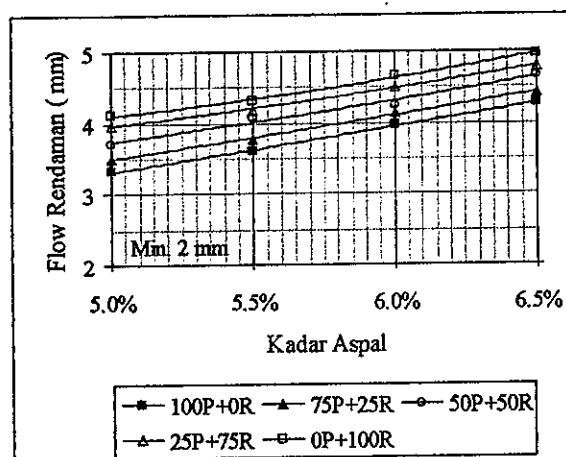
Kadar Aspal (Pb)	Kelelahan Plastis (Flow)										
	Min.	100P+0R		75P+25R		50P+50R		25P+75R		0P+100R	
		(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)
(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5.0	2	3.35	3.73	3.45	3.81	3.54	3.93	3.70	3.83	3.76	4.07
5.5	2	3.39	3.80	3.63	3.93	3.71	4.03	3.85	4.10	3.90	4.12
6.0	2	3.76	4.18	3.88	4.34	4.05	4.36	4.18	4.21	4.28	4.36
6.5	2	4.17	4.57	4.38	4.63	4.56	4.67	4.70	4.80	4.90	4.97

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar Rounded

D = Dry (Kering)  
S = Soaked (Rendaman)



(a)



(b)

Gambar 4.16 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap : (a) Nilai kelelahan plastis kering. (b) Nilai kelelahan plastis rendaman.

Gambar 4.16, menggambarkan pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap nilai kelelahan plastis (*flow*) yang mengalami kenaikan dengan semakin bertambahnya agregat kasar *rounded* di dalam campuran baik pada kondisi kering (Gambar 4.16a) maupun pada kondisi rendaman (Gambar 4.16b).

Naiknya nilai kelelahan plastis dengan semakin banyaknya agregat kasar *rounded* didalam campuran beton aspal dikarenakan bentuk agregat tanpa bidang pecah (*rounded*) tidak memiliki bidang bersudut tajam dan cenderung mempunyai permukaan licin (Gambar 1.1b), maka pertemuan antar butiran terhadap agregat kasar *rounded* hanya merupakan titik

singgung saja, sehingga kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang. Berkurangnya kemampuan saling mengunci antar butir-butir agregat menyebabkan butir-butir agregat di dalam campuran beton aspal padat akan semakin mudah bergeser saat dibebani. Semakin mudah agregat di dalam campuran untuk bergeser dari kedudukannya, maka campuran beton aspal akan memiliki nilai kelelahan plastis yang semakin meningkat.

Tampak pada Gambar 4.16, kelelahan plastis rendaman akan mempunyai nilai yang lebih besar dari kelelahan plastis kering untuk masing-masing variasi agregat kasar yang dipakai di dalam campuran. Meningkatnya nilai kelelahan plastis rendaman ini disebabkan pada saat benda uji direndam di dalam air pada temperatur 60°C selama 24 jam secara terus menerus mengakibatkan kekentalan aspal mengalami penurunan akibat temperatur, dengan kata lain aspal mulai melunak, hal ini tidak terlepas dari nilai titik lembek aspal seperti diuraikan pada sub.bab 4.1.2(6) dimana aspal yang digunakan mempunyai nilai titik lembek 49,5°C mendekati batas minimum spesifikasi (min. 48°C dan maks. 58°C). Melunaknya lapisan aspal yang menyelimuti agregat mengakibatkan aspal semakin plastis dan mudah mulur sehingga menyebabkan naiknya nilai kelelahan plastis.

#### 4.3.10. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Hasil Bagi Marshall, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

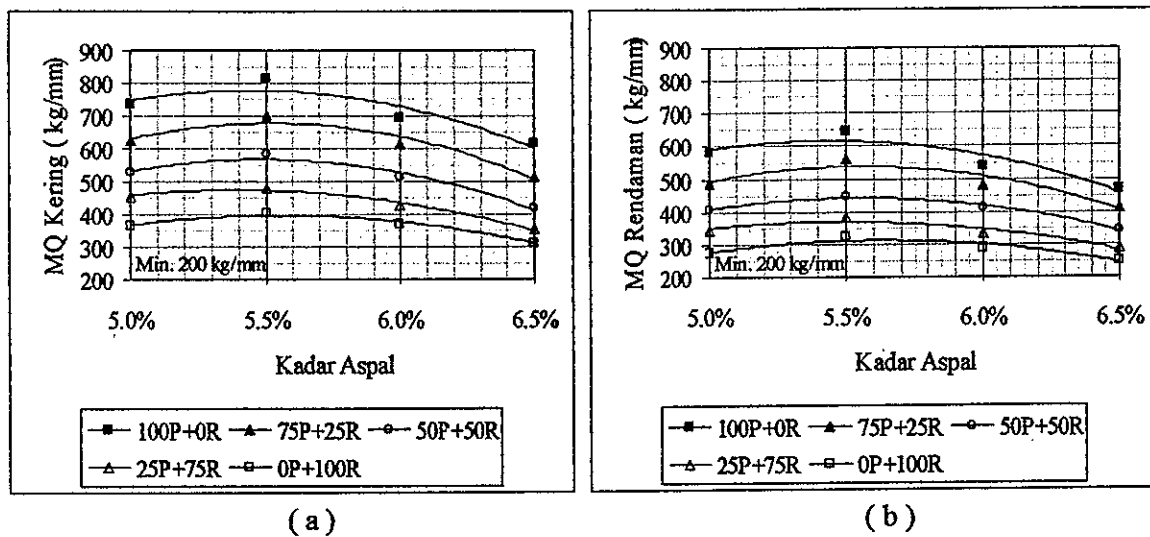
Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient, MQ*) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan plastis. Nilai hasil bagi Marshall yang tinggi menunjukkan bahwa campuran cenderung bersifat kaku dan getas, sebaliknya nilai MQ yang rendah menunjukkan bahwa campuran bersifat plastis atau lentur dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas.

Tabel 4.40 : Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Hasil Bagi Marshall "MQ" (kg/mm)										
	Min.	100P+0R		75P+25R		50P+50R		25P+75R		0P+100R	
		(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)	(D)	(S)
5.0 %	200	579.60	450.77	490.39	389.71	444.77	358.29	378.66	317.68	300.19	244.97
5.5 %	200	590.48	469.64	504.13	412.33	468.19	383.09	393.08	338.19	333.36	281.95
6.0 %	200	470.84	362.05	442.13	342.52	400.11	319.27	377.66	328.52	329.93	278.66
6.5 %	200	381.24	301.75	350.41	291.25	329.11	275.58	302.43	271.00	272.43	237.23

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*

D = *Dry* (Kering)  
S = *Soaked* (Rendaman)



Gambar 4.17 : Grafik hubungan antara Variasi Agregat Kasar terhadap : (a) Nilai hasil bagi Marshall, MQ kering. (b) Nilai hasil bagi Marshall, MQ rendaman.

Gambar 4.17, menggambarkan pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap nilai hasil bagi Marshall yang mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya agregat kasar *rounded* di dalam campuran baik pada kondisi kering (Gambar 4.17a) maupun pada kondisi rendaman (Gambar 4.17b).

Turunnya nilai hasil bagi Marshall dengan semakin banyaknya agregat kasar *rounded* didalam campuran beton aspal dikarenakan bentuk agregat tanpa bidang pecah (*rounded*) tidak memiliki bidang bersudut tajam dan cenderung mempunyai permukaan licin (Gambar 1.1b), maka pertemuan antar butiran terhadap agregat kasar *rounded* hanya merupakan titik singgung saja, sehingga kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang. Berkurangnya kemampuan saling mengunci antar butir-butir agregat menyebabkan butir-butir agregat di dalam campuran beton aspal padat akan semakin mudah bergeser saat dibebani. Semakin mudah agregat di dalam campuran untuk bergeser dari kedudukannya, maka campuran beton aspal akan memiliki nilai kelelahan plastis yang semakin meningkat dan nilai stabilitas semakin menurun, sehingga akan menghasilkan nilai hasil bagi Marshall yang semakin rendah.

Pada Gambar 4.17, menunjukkan nilai hasil bagi Marshall kering lebih tinggi dibandingkan nilai hasil bagi Marshall rendaman, hal ini disebabkan stabilitas mengalami penurunan pada kondisi perendaman, sedangkan nilai kelelahan plastis mengalami peningkatan pada kondisi perendaman, sehingga hasil bagi Marshall pada kondisi kering mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan hasil bagi pada kondisi rendaman.

#### 4.3.11. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Stabilitas Marshall Sisa, pada pemadatan 2x75 tumbukan.

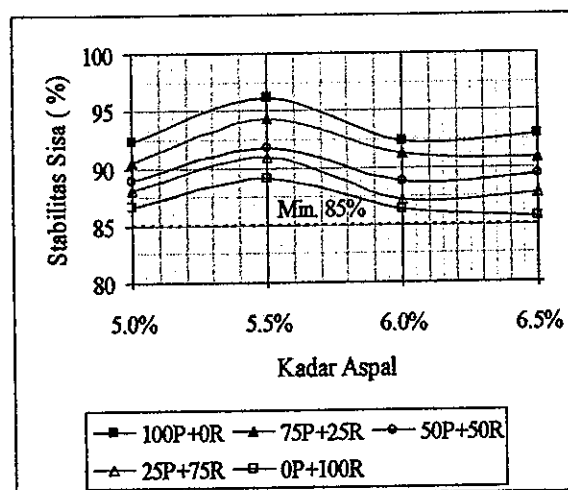
Stabilitas sisa (*remained stability, RS*) adalah perbandingan antara nilai stabilitas rendaman terhadap nilai stabilitas kering, makin tinggi nilai RS berarti gangguan air terhadap stabilitas semakin tidak berarti atau campuran menjadi semakin stabil. Nilai RS yang tinggi didapat pada campuran yang rapat, padat, dan kedap air. Oleh karena itu RS mempunyai hubungan yang erat dengan volume rongga udara di dalam campuran (VIM), kerapatan (*density*), tebal selimut aspal, dan porositas agregat.

Pengaruh pemakaian agregat kasar *rounded* terhadap stabilitas sisa dapat dilihat pada Tabel 4.41 dan Gambar 4.18 yang menggambarkan pengaruh variasi agregat kasar *rounded* dengan variasi kadar aspal terhadap stabilitas sisa.

Tabel 4.41 : Stabilitas Marshall Sisa (RS) dengan jumlah pemadatan 2x75 tumbukan.

Kadar Aspal (Pb)	Stabilitas Marshall Sisa					
	Min.	100P+0R	75P+25R	50P+50R	25P+75R	0P+100R
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5.0	85	86.48	87.76	89.32	86.85	88.34
5.5	85	89.29	88.67	88.89	91.51	89.24
6.0	85	85.48	86.67	85.90	87.72	85.94
6.5	85	86.75	87.86	85.76	91.52	88.24

Catatan : P = Persentase Agregat Kasar Pecah  
R = Persentase Agregat Kasar *Rounded*



Gambar 4.18 : Grafik pengaruh variasi agregat kasar *rounded* terhadap Stabilitas Marshall Sisa.

Gambar 4.18 menggambarkan semakin banyak agregat kasar *rounded* didalam campuran, maka nilai stabilitas sisa semakin menurun. Penurunan nilai stabilitas sisa ini disebabkan semakin banyak agregat kasar *rounded* di dalam campuran beton aspal, maka campuran beton aspal akan mempunyai tebal selimut aspal yang lebih tipis (Gambar 4.9b), rongga udara (VIM) lebih besar (Gambar 4.13b) dan kerapatan (*density*) semakin rendah (Gambar 4.8b), sehingga campuran beton aspal padat mempunyai porositas yang semakin besar.

Campuran beton aspal padat yang mempunyai porositas semakin besar akan lebih mudah diresapi air, sehingga pada saat proses perendaman benda uji di dalam air pada temperatur 60°C selama 24 jam secara terus menerus menyebabkan kekentalan aspal mengalami penurunan akibat temperatur pada skala yang lebih luas, dengan kata lain aspal semakin plastis pada skala yang lebih luas dibandingkan campuran yang mempunyai porositas lebih sedikit, karena panas yang ada mempengaruhi campuran lewat pemanasan air yang digunakan untuk merendam benda uji. Semakin plastisnya aspal menyebabkan aspal akan lebih mudah mengalir, yang mengakibatkan sebagian aspal akan terlepas dari permukaan agregat sehingga agregat akan diresapi dan diselimuti oleh air.

Karena karakteristik agregat kasar *rounded* yang tidak memiliki bidang sudut tajam dengan permukaan yang cenderung licin menyebabkan sebagian selimut aspal pada agregat kasar *rounded* akan mengalir lebih banyak dibandingkan pada agregat pecah. Sehingga air yang meresap dan menyelimuti agregat akan semakin besar pada campuran yang mengandung lebih banyak agregat kasar *rounded*. Semakin banyaknya air yang meresapi agregat menyebabkan nilai stabilitas perendaman akan mengalami penurunan semakin besar, sehingga pada campuran yang mengandung lebih banyak agregat kasar *rounded* akan memiliki nilai stabilitas sisa yang semakin kecil.

#### **4.3.12. Hubungan Kerapatan dan Volume Rongga dengan Variasi Agregat Kasar *Rounded*, terhadap usaha pemadatan.**

Nilai kerapatan dan volume rongga di dalam campuran beton aspal padat terhadap usaha pemadatan tidak terlepas dari karakteristik bentuk permukaan maupun mutu agregat bahan penyusun campuran beton aspal, karena agregat di dalam campuran beton aspal berfungsi sebagai kerangka yang akan menerima sebagian besar beban yang bekerja pada campuran beton aspal tersebut. Semakin baik mutu agregat maka agregat tidak mudah hancur atau pecah akibat pemadatan dan semakin sedikit permukaan agregat yang

digunakan mempunyai bidang sudut yang tajam maka agregat akan lebih mudah bergeser menyesuaikan kedudukannya pada saat menerima beban pemadatan.

Besarnya usaha pemadatan (*compaction*) akan mempengaruhi nilai kerapatan dan volume rongga yang ada di dalam campuran beton aspal padat, semakin besar usaha pemadatan maka akan diperoleh nilai kerapatan campuran beton aspal padat yang semakin tinggi. Semakin tingginya nilai kerapatan ini disebabkan oleh karena dengan penambahan jumlah pemadatan maka volume rongga diantara mineral agregat (VMA) dan volume rongga udara didalam campuran beton aspal padat (VIM) yang tersisa dipaksa menjadi semakin kecil, dengan kata lain campuran akan semakin mampat. Dengan semakin mengecilnya VMA dan VIM mengakibatkan volume rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA) semakin naik.

Pengaruh penambahan pemadatan terhadap variasi agregat kasar *rounded* dengan nilai kerapatan dan berbagai volume rongga di dalam campuran beton aspal padat dapat dilihat pada Tabel 4.42 sampai dengan Tabel 4.45.

Untuk memperjelas pengaruh penambahan pemadatan terhadap variasi agregat kasar *rounded* dengan nilai kerapatan dan berbagai volume rongga di dalam campuran beton aspal padat, maka Tabel 4.42 sampai dengan Tabel 4.45 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.19.

Tabel 4.42 : Hubungan antara Kerapatan dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb) (%)	Kerapatan Kering ( Gmb )				Peningkatan nilai Kerapatan (%)
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		( gr/cm <sup>3</sup> )	( gr/cm <sup>3</sup> )	( gr/cm <sup>3</sup> )	( gr/cm <sup>3</sup> )	
100% P	5.50	2.367	-	2.426	-	2.48%
75% P + 25% R	5.50	2.351	-	2.419	-	2.87%
50% P + 50% R	5.50	2.337	-	2.412	-	3.20%
25% P + 75% R	5.50	2.326	-	2.397	-	3.04%
100% R	5.50	2.312	-	2.380	-	2.92%

Tabel 4.43 : Hubungan antara VMA dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

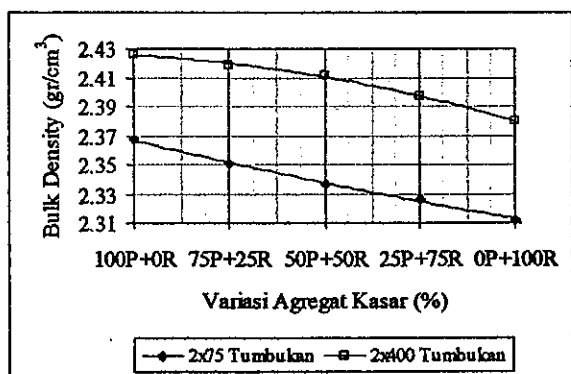
Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Rongga diantara mineral agregat (VMA)				
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		Penurunan nilai VMA
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
100% P	5.50	16.30	Min. 15	14.23	-	-12.72%
75% P + 25% R	5.50	16.26	Min. 15	13.85	-	-14.81%
50% P + 50% R	5.50	16.00	Min. 15	13.32	-	-16.79%
25% P + 75% R	5.50	15.72	Min. 15	13.16	-	-16.29%
100% R	5.50	15.62	Min. 15	13.16	-	-15.78%

Tabel 4.44 : Hubungan antara VIM dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

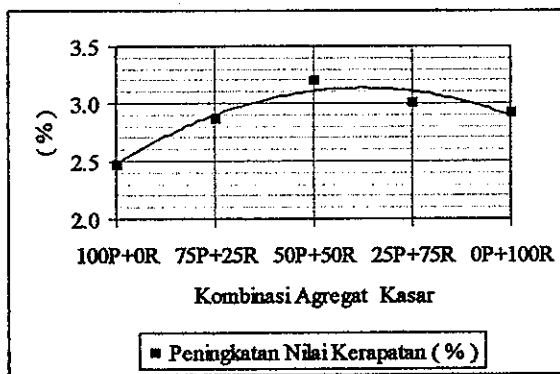
Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Rongga udara didalam campuran beton aspal padat (VIM)				
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		Penurunan nilai VIM
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
100% P	5.50	5.24	4.9 – 5.9	2.90	Min. 2.5	-44.76%
75% P + 25% R	5.50	5.33	4.9 – 5.9	2.61	Min. 2.5	-51.07%
50% P + 50% R	5.50	5.57	4.9 – 5.9	2.55	Min. 2.5	-54.20%
25% P + 75% R	5.50	5.75	4.9 – 5.9	2.88	Min. 2.5	-49.85%
100% R	5.50	5.83	4.9 – 5.9	3.07	Min. 2.5	-47.23%

Tabel 4.45 : Hubungan antara VFA dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

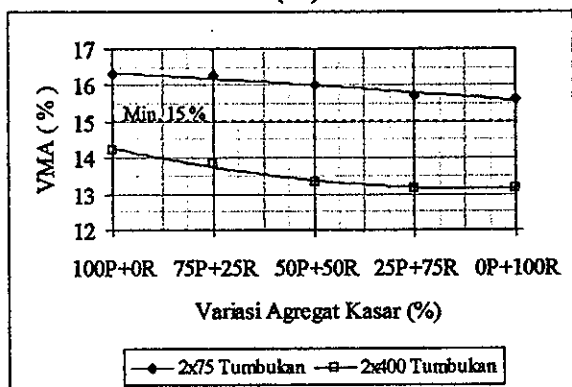
Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA)				
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		Peningkatan nilai VFA
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
100% P	5.50	67.83	Min. 65	79.64	-	17.41%
75% P + 25% R	5.50	67.22	Min. 65	81.17	-	20.75%
50% P + 50% R	5.50	65.17	Min. 65	80.83	-	24.03%
25% P + 75% R	5.50	63.45	Min. 65	78.11	-	23.11%
100% R	5.50	62.72	Min. 65	76.64	-	22.20%



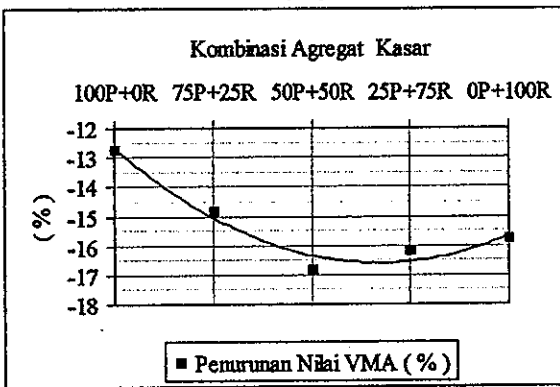
(a)



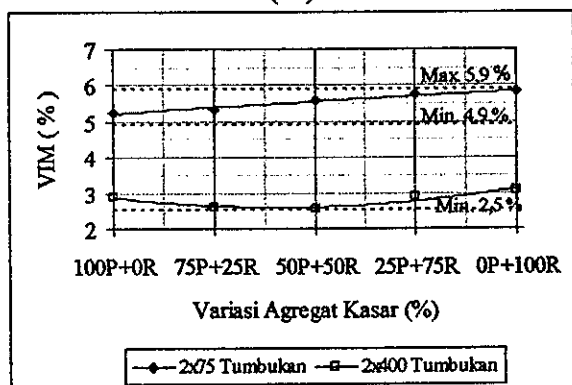
(b)



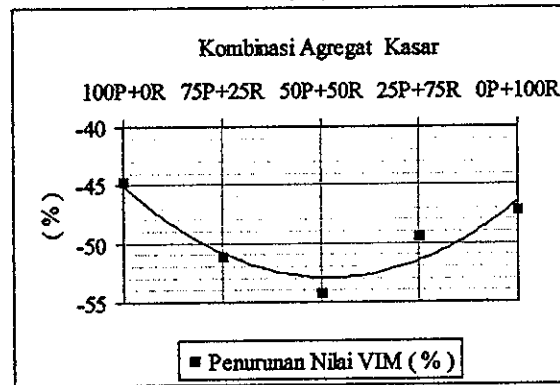
(c)



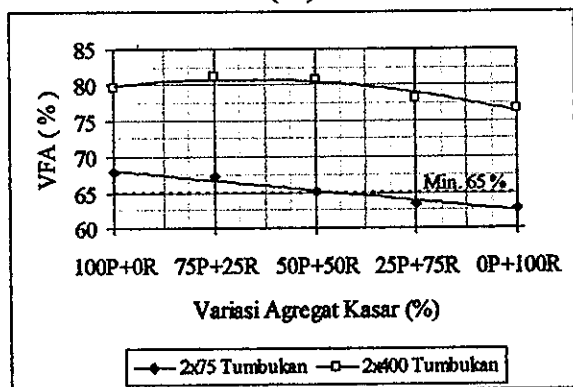
(d)



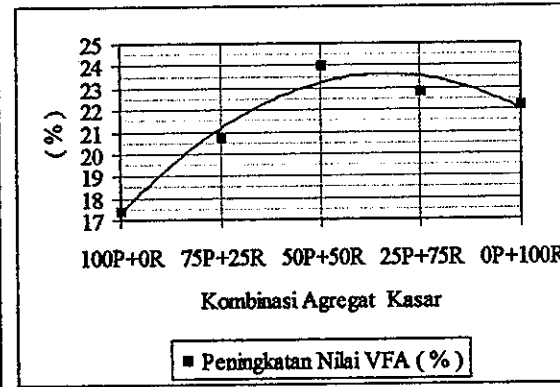
(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar 4.19 : Pengaruh penambahan pematatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan terhadap variasi agregat kasar rounded dengan Kerapatan dan Volume rongga campuran beton aspal padat.

Gambar 4.19b, menggambarkan persentase peningkatan nilai kerapatan akibat tercampurnya agregat kasar *rounded* lebih tinggi dibandingkan yang tidak mengandung agregat kasar *rounded* disebabkan oleh karena agregat kasar *rounded* tidak mempunyai bidang sudut tajam dan mempunyai permukaan cenderung licin seperti terlihat pada Gambar 1.1b, sehingga dengan semakin bertambahnya usaha pemadatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan mengakibatkan butir-butir agregat yang ada di dalam campuran akan semakin mudah bergeser untuk lebih menyesuaikan kedudukannya guna saling mengisi rongga-rongga di antara butir agregat yang ada. Disamping karena pengaruh bidang permukaan agregat maka peningkatan persentase nilai kerapatan juga disebabkan agregat kasar *rounded* mengandung pori-pori lebih besar dibandingkan agregat kasar pecah yang ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai penyerapan agregat kasar yang mengandung agregat kasar *rounded* seperti tampak pada Tabel 4.42 dan Gambar 4.5a, sehingga semakin banyak agregat kasar *rounded* tercampur maka aspal yang diserap oleh agregat kasar *rounded* semakin banyak. Dengan demikian rongga diantara butir agregat yang terisi aspal (VFA) semakin sedikit (Tabel 4.34 dan Gambar 4.14) dan campuran semakin berongga (Tabel 4.32 dan Gambar 4.13b), akibat pemadatan tambahan maka butir-butir agregat yang lebih kecil akan bergeser mengisi rongga-rongga yang masih tersedia. Sehingga volume rongga diantara agregat (VMA) akan mengecil seperti terlihat pada Gambar 4.19d yang menggambarkan persentase penurunan nilai VMA akibat penambahan pemadatan.

Dengan mengecilnya nilai VMA maka mengakibatkan volume rongga udara di dalam campuran beton aspal padat (VIM) yang tersisa semakin mengecil seperti terlihat pada Gambar 4.19f yang menggambarkan persentase penurunan nilai VIM akibat penambahan pemadatan. Karena rongga diantara mineral agregat (VMA) dan rongga udara di dalam campuran beton aspal padat (VIM) yang tersisa semakin mengecil, maka dengan kadar aspal yang sama mengakibatkan rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA) semakin besar seperti terlihat pada Gambar 4.19h yang menggambarkan terjadinya persentase peningkatan nilai VFA akibat penambahan pemadatan.

Gambar 4.19b juga menunjukkan pada saat agregat kasar *rounded* yang tercampur mencapai 50% terhadap total pemakaian agregat kasar, maka penambahan jumlah pemadatan akan menaikkan persentase peningkatan nilai kerapatan sampai pada nilai yang optimum. Hal ini disebabkan fraksi-fraksi agregat kasar pecah maupun agregat halus yang ada di dalam campuran masih mencukupi untuk mengadakan perimbangan akibat

bertambahnya agregat kasar *rounded* guna saling mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat yang ada, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19d dan Gambar 4.19f, dimana persentase penurunan nilai VMA dan VIM akan semakin membesar sampai mencapai nilai optimum ketika agregat kasar *rounded* yang tercampur mencapai 50% terhadap total pemakaian agregat kasar. Pencapaian nilai optimum ini menunjukkan perimbangan antar fraksi untuk saling mengisi rongga di dalam campuran mencapai puncaknya. Sehingga akibat penambahan jumlah pemadatan (2x400) maka peningkatan persentase kerapatan mencapai nilai yang optimal.

Namun pada saat agregat kasar *rounded* melebihi 50% terhadap total pemakaian agregat kasar, pada Gambar 4.19b menunjukkan mulai terjadinya penurunan terhadap persentase peningkatan kerapatan campuran beton aspal padat. Hal ini disebabkan setelah agregat kasar *rounded* melebihi 50% maka rongga yang ada semakin besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19e dan Gambar 4.19f dimana persentase penurunan nilai VIM akan kembali mengecil sehingga akibat penambahan jumlah pemadatan yang sama (2x400) maka peningkatan persentase kerapatan menurun kembali.

#### **4.3.13. Hubungan Stabilitas Marshall dengan Variasi Agregat Kasar *Rounded*, terhadap usaha pemadatan.**

Seperti telah diuraikan di dalam sub.bab 4.3.12, dimana besarnya usaha pemadatan (*compaction*) akan mempengaruhi nilai kerapatan dan volume rongga yang ada di dalam campuran beton aspal padat, semakin besar usaha pemadatan maka akan diperoleh nilai kerapatan campuran beton aspal padat yang semakin tinggi. Semakin tingginya nilai kerapatan ini disebabkan oleh karena dengan penambahan jumlah pemadatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan, maka volume rongga diantara mineral agregat (VMA) dan volume rongga udara didalam campuran beton aspal padat (VIM) yang tersisa dipaksa menjadi semakin kecil (Gambar 4.19c dan Gambar 4.19e), dengan kata lain campuran akan semakin mampat. Dengan semakin mengecilnya VMA dan VIM mengakibatkan volume rongga diantara agregat yang terisi aspal (VFA) semakin naik (Gambar 4.19g), sehingga nilai kerapatan akan meningkat (Gambar 4.19a). Meningkatnya nilai kerapatan dan mengecilnya rongga udara di dalam campuran (VIM) yang tersisa akan menaikkan nilai stabilitas dan mempengaruhi nilai kelelahan plastis.

Pengaruh penambahan pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukan terhadap nilai stabilitas dan kelelahan plastis dengan berbagai variasi agregat kasar *rounded* dapat dilihat pada Tabel 4.46 sampai dengan Tabel 4.49.

Untuk memperjelas pengaruh penambahan pemadatan terhadap nilai stabilitas dan nilai kelelahan plastis dengan berbagai variasi agregat kasar *rounded*, maka Tabel 4.46 sampai dengan Tabel 4.49 dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 4.20.

Tabel 4.46: Hubungan antara Stabilitas Marshall Kering dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb) (%)	Stabilitas Kering				Peningkatan nilai Stabilitas Kering (%)
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
100% P	5.50	2427.1	Min. 800	2439.0	-	0.49%
75% P + 25% R	5.50	2248.6	Min. 800	2662.4	-	18.40%
50% P + 50% R	5.50	1998.8	Min. 800	2751.3	-	37.65%
25% P + 75% R	5.50	1763.2	Min. 800	2461.3	-	39.59%
100% R	5.50	1562.9	Min. 800	2268.0	-	45.11%

Tabel 4.47 : Hubungan antara Stabilitas Marshall Rendaman dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

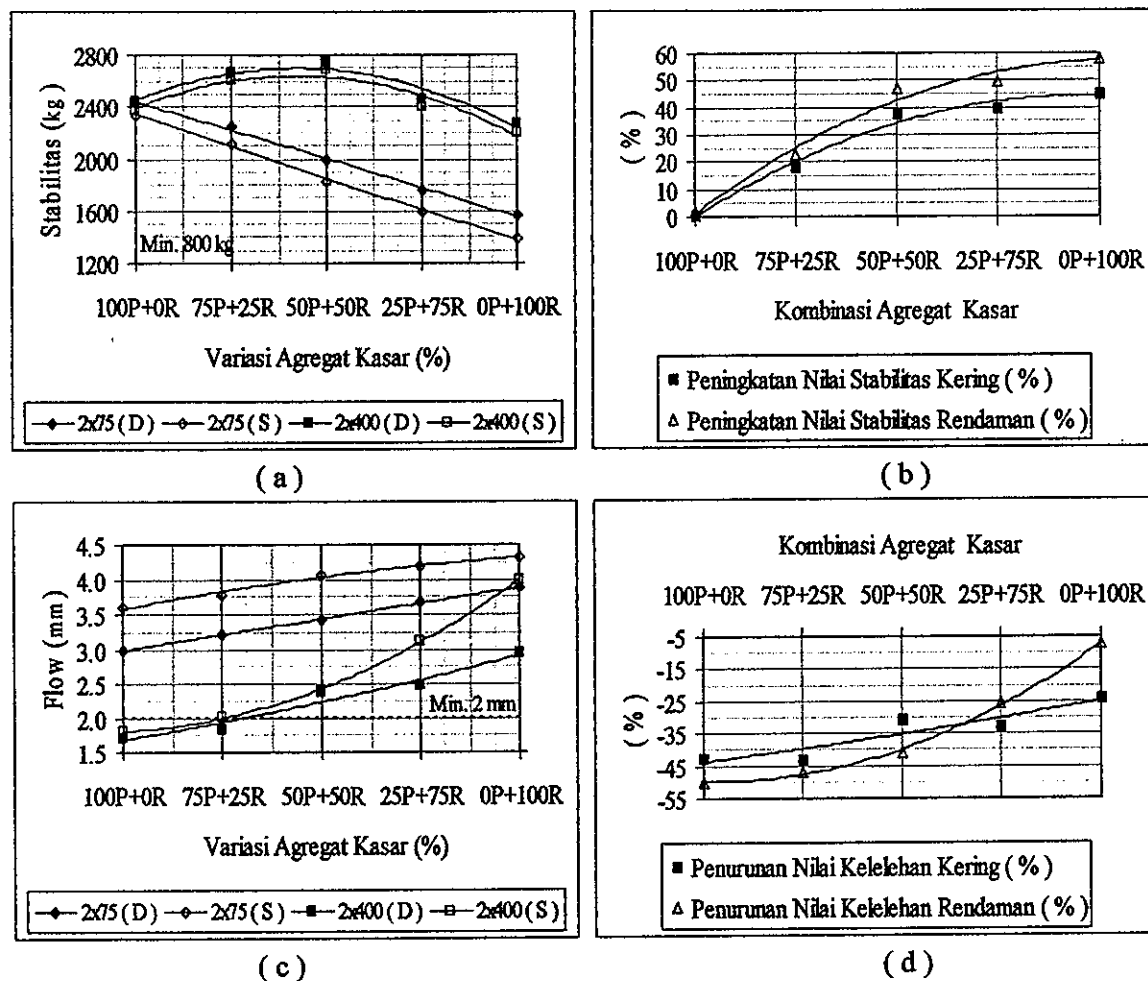
Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb) (%)	Stabilitas Rendaman				Peningkatan nilai Stabilitas Rendaman (%)
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
100% P	5.50	2334.3	-	2379.5	-	1.94%
75% P + 25% R	5.50	2119.8	-	2602.6	-	22.77%
50% P + 50% R	5.50	1834.6	-	2691.8	-	46.73%
25% P + 75% R	5.50	1602.6	-	2401.8	-	49.87%
100% R	5.50	1392.0	-	2201.0	-	58.12%

Tabel 4.48 : Hubungan antara Kelelehan Plastis Kering dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Kelelehan Plastis Kering				Penurunan nilai <i>Flow</i> Kering
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		
	Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan		
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
100% P	5.50	2.99	Min. 2	1.71	-	-42.71%
75% P + 25% R	5.50	3.21	Min. 2	1.84	-	-42.83%
50% P + 50% R	5.50	3.43	Min. 2	2.38	-	-30.76%
25% P + 75% R	5.50	3.68	Min. 2	2.48	-	-32.65%
100% R	5.50	3.88	Min. 2	2.94	-	-24.26%

Tabel 4.49 : Hubungan antara Kelelehan Plastis Rendaman dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Kelelehan Plastis Rendaman				Penurunan nilai <i>Flow</i> Rendaman
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		
	Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan		
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
100% P	5.50	3.60	Min. 2	1.81	-	-49.86%
75% P + 25% R	5.50	3.78	Min. 2	2.01	-	-46.83%
50% P + 50% R	5.50	4.08	Min. 2	2.41	-	-40.98%
25% P + 75% R	5.50	4.20	Min. 2	3.13	-	-25.51%
100% R	5.50	4.32	Min. 2	4.00	-	-7.30%



Gambar 4.20 : Pengaruh penambahan pemadatan dari 2x75 tumbukan menjadi 2x400 tumbukan terhadap variasi agregat kasar *rounded* dengan Stabilitas dan Kelelahan Plastis.

Gambar 4.20a dan Gambar 4.20b menunjukkan Stabilitas Marshall mengalami kenaikan akibat penambahan pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukan pada semua variasi agregat kasar *rounded* yang tercampur di dalam campuran beton aspal padat.

Pada Gambar 4.20a, memperlihatkan kenaikan stabilitas akan mencapai nilai tertinggi pada saat campuran memakai kombinasi agregat kasar *rounded* sebanyak 50% terhadap total agregat kasar yang ada. Hal ini disebabkan pada saat agregat kasar *rounded* sebanyak 50% terhadap total agregat kasar, maka campuran mempunyai rongga udara (VIM) yang paling minimum seperti terlihat pada Gambar 4.19e. Rongga udara yang paling minimum ini menunjukkan, bahwa campuran agregat pada posisi kedudukan yang paling stabil.

Gambar 4.20c dan Gambar 4.20d menunjukkan Kelelahan Plastis mengalami penurunan akibat penambahan pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukan pada semua variasi agregat kasar *rounded* yang tercampur di dalam campuran beton aspal padat.

Pada Gambar 4.20c terlihat semakin banyak agregat kasar *rounded* yang tercampur di dalam campuran beton aspal, maka kelelahan plastis campuran beton aspal padat akan mempunyai nilai yang semakin naik.

Ketika agregat kasar *rounded* yang tercampur masih dibawah 25% terhadap total agregat kasar, maka pada saat dilakukan penambahan jumlah pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukkan akan mempunyai nilai kelelahan plastis di bawah 2 mm, ini menunjukkan campuran akan mudah retak akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ketika beban lalu lintas berat bekerja. Sedangkan pada saat agregat kasar *rounded* yang tercampur di atas 25% terhadap total agregat kasar maka pada saat dilakukan penambahan jumlah pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukkan akan mempunyai nilai kelelahan plastis di atas 2 mm, ini menunjukkan campuran masih dalam kondisi plastis sehingga tidak mudah retak akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ketika beban lalu lintas berat bekerja, sehingga pemakaian agregat kasar *rounded* yang tercampur di atas 25% terhadap total agregat kasar akan semakin menguntungkan campuran beton aspal padat pada saat menerima pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ketika beban lalu lintas berat bekerja.

Naiknya nilai kelelahan plastis dengan semakin banyaknya agregat kasar *rounded* didalam campuran beton aspal dikarenakan bentuk agregat *rounded* tidak memiliki bidang bersudut tajam dan cenderung mempunyai permukaan licin (Gambar 1.1b), sehingga pertemuan antar butiran terhadap agregat kasar *rounded* hanya merupakan titik singgung saja, yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan saling mengunci (*interlocking*) antar agregat. Berkurangnya kemampuan saling mengunci antar agregat akan memungkinkan agregat masih mudah bergeser dari kedudukannya pada saat perkerasan aspal dibebani lalu lintas. Campuran beton aspal yang mengandung kadar aspal cukup dan butir-butir agregat yang semakin mudah bergeser dari kedudukan, akan memiliki nilai kelelahan plastis yang semakin meningkat.

#### **4.3.14. Pengaruh Variasi Agregat Kasar *Rounded* terhadap Stabilitas Marshall Sisa, pada pemadatan 2x75 tumbukkan dan 2x400 tumbukkan.**

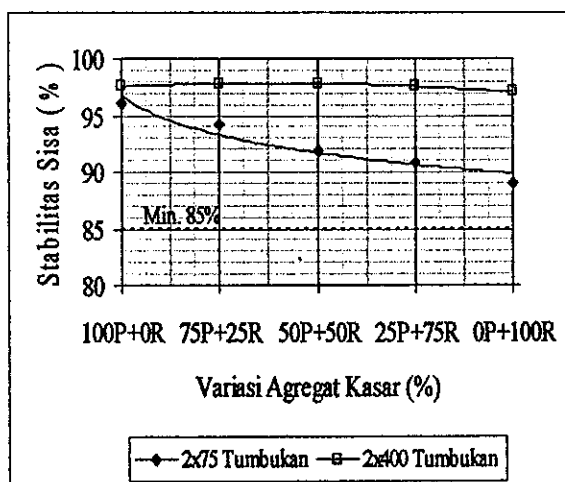
Besarnya usaha pemadatan (*compaction*) akan mempengaruhi besarnya volume rongga udara yang ada di dalam campuran beton aspal padat, semakin besar usaha pemadatan maka akan diperoleh volume rongga udara di dalam campuran (VIM) yang tersisa semakin kecil (Gambar 4.19e), sehingga campuran beton aspal padat semakin kedap

terhadap air. Semakin rongga udara (VIM) kecil maka pengaruh air akan semakin kecil, sehingga stabilitas perkerasan campuran aspal beton tidak banyak berubah.

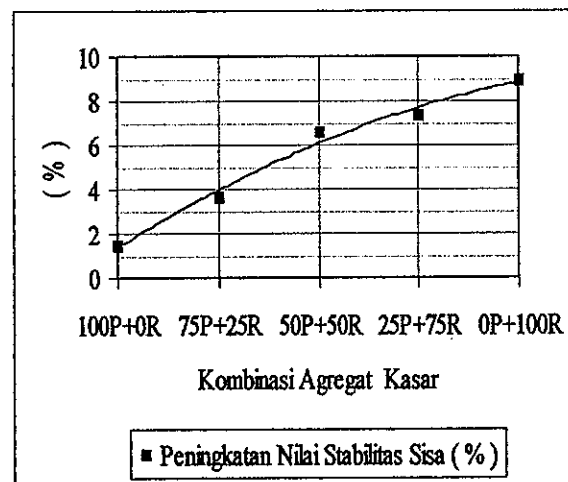
Pengaruh penambahan pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukan terhadap nilai stabilitas sisa dengan berbagai variasi agregat kasar *rounded* dapat dilihat pada Tabel 4.50 dan Gambar 4.21 yang menggambarkan pengaruh variasi agregat kasar *rounded* pada kadar aspal optimum (KAO) 5,5% terhadap stabilitas sisa.

Tabel 4.50: Hubungan antara Stabilitas Marshall Sisa dengan Variasi agregat kasar *rounded* terhadap usaha pemadatan 2x75 tumbukan dan 2x400 tumbukan.

Kombinasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	Stabilitas Marshall Sisa				
		Jumlah pemadatan 2x75 tumbukan		Jumlah pemadatan 2x400 tumbukan		Peningkatan nilai Stabilitas Sisa
		Hasil Laboratorium	Persyaratan	Hasil Laboratorium	Persyaratan	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
100% P	5.50	96.18	Min. 85	97.56	-	1.44%
75% P + 25% R	5.50	94.27	Min. 85	97.75	-	3.69%
50% P + 50% R	5.50	91.79	Min. 85	97.84	-	6.59%
25% P + 75% R	5.50	90.89	Min. 85	97.58	-	7.36%
100% R	5.50	89.07	Min. 85	97.05	-	8.96%



(a)



(b)

Gambar 4.21 : Grafik hubungan antara Stabilitas Marshall Sisa dengan variasi agregat kasar *rounded* terhadap jumlah tumbukan pemadatan.

Gambar 4.21 menunjukkan Stabilitas Marshall Sisa mengalami kenaikan akibat penambahan pemadatan dari 2x75 menjadi 2x400 tumbukan pada semua variasi agregat kasar *rounded* yang tercampur di dalam campuran beton aspal padat.

#### 4.4. Evaluasi Hasil Laboratorium Terhadap Spesifikasi

Dari hasil pengujian campuran beton aspal pada kadar aspal optimum (KAO) 5,5% terhadap pengaruh variasi agregat kasar *rounded* seperti tampak pada Tabel 4.42 sampai dengan Tabel 4.50 dapat diketahui pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap campuran beton aspal sebagai berikut :

- 1) Pada jumlah pemadatan 2x75 tumbukan, pemakaian agregat kasar *rounded* sampai dengan 25% terhadap total agregat kasar menunjukkan hasil campuran beton aspal memenuhi seluruh persyaratan spesifikasi. Sedangkan pemakaian agregat kasar *rounded* sebesar 50% walaupun menghasilkan campuran yang memenuhi semua persyaratan, namun mempunyai nilai VFA 65,17% mendekati nilai minimum spesifikasi (VFA minimal 65%) dan nilai VIM 5,57% mendekati nilai maksimum syarat spesifikasi (min 4,9% - maks. 5,9%) sehingga campuran ini kurang baik digunakan sebagai lapis perkerasan apabila menggunakan standar Marshall (2x75 tumbukan) karena celah-celah rongga udara yang cukup besar akan menurunkan kemampuan campuran beton aspal dalam menerima beban dan aspal menjadi rentan terhadap proses oksidasi yang pada akhirnya menyebabkan agregat akan mudah terlepas saat menerima beban lalu lintas. Sedangkan pemakaian agregat kasar *rounded* 75% mengakibatkan volume rongga di antara agregat yang terisi aspal (VFA) 63,45%, VIM 5,75% dan pemakaian agregat kasar *rounded* 100% mempunyai nilai VFA 62,72%, VIM 5,83% seperti tampak pada Tabel 4.45. Hubungan berbagai volume rongga di dalam campuran beton aspal dan nilai stabilitas serta kelelahan plastis (*flow*) selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.51.

Tabel 4.51 : Hasil Pengujian Standar Marshall (jumlah pemadatan 2x75 tumbukan).

Variasi Agregat Kasar (%)	Kadar Aspal (Pb) (%)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas Kering (kg)	Flow (mm)	Peringkat Nilai Struktural Campuran
100% P	5.5	16.30	5.24	67.83	2427.1	2.99	1
75% P + 25% R	5.5	16.26	5.33	67.22	2248.6	3.21	2
50% P + 50% R	5.5	16.00	5.57	65.17	1998.8	3.43	3
25% P + 75% R	5.5	15.72	5.75	63.45	1763.2	3.68	4
100% R	5.5	15.62	5.83	62.72	1562.9	3.88	5

- 2) Pada jumlah pemadatan 2x400 tumbukan, yaitu pada kondisi kepadatan mutlak (*refusal*) menunjukkan pemakaian agregat kasar *rounded* sampai 100% terhadap total agregat kasar di dalam campuran beton aspal memberikan pengaruh yang sangat baik terhadap kinerja campuran beton aspal, seperti tampak pada Tabel 4.52.

Pengaruh paling baik diberikan oleh gabungan kombinasi agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) yang menghasilkan nilai struktural paling baik dibandingkan pengaruh agregat kasar lainnya seperti tampak pada Tabel 4.53.

Tabel 4.52 : Hasil Pengujian Kepadatan Mutlak (jumlah pemadatan 2x400 tumbukan).

Variasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	VMA	VIM		VFA	Stabilitas Kering	Flow
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(mm)
100% P	5.5	14.23	2.90	Min. 2.5	79.64	2439.0	1.71
75% P + 25% R	5.5	13.85	2.61	Min. 2.5	81.17	2662.4	1.84
50% P + 50% R	5.5	13.32	2.55	Min. 2.5	80.83	2751.3	2.38
25% P + 75% R	5.5	13.16	2.88	Min. 2.5	78.11	2461.3	2.48
100% R	5.5	13.16	3.07	Min. 2.5	76.64	2268.0	2.94

Tabel 4.53 : Peringkat Nilai Struktural Campuran Beton Aspal (pemadatan 2x400 tumbukan).

Variasi Agregat Kasar	Kadar Aspal (Pb)	VMA	VIM		VFA	Stabilitas Kering	Flow	Peringkat Nilai Struktural Campuran
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(mm)	
50% P + 50% R	5.5	13.32	2.55	Min. 2.5	80.83	2751.3	2.38	1
75% P + 25% R	5.5	13.85	2.61	Min. 2.5	81.17	2662.4	1.84	2
25% P + 75% R	5.5	13.16	2.88	Min. 2.5	78.11	2461.3	2.48	3
100% P	5.5	14.23	2.90	Min. 2.5	79.64	2439.0	1.71	4
100% R	5.5	13.16	3.07	Min. 2.5	76.64	2268.0	2.94	5

Nilai VFA yang dihasilkan campuran beton aspal padat pada jumlah pemadatan 2x400 tumbukan (Tabel 4.52) lebih besar dibandingkan campuran beton aspal yang dipadatkan 2x75 tumbukan (Tabel 4.51) disebabkan dengan semakin banyak jumlah pemadatan pada campuran beton aspal maka rongga udara yang tersisa (VIM) di dalam campuran akan semakin sedikit sehingga rongga diantara mineral agregat (VMA) akan semakin kecil pula. Mengingat nilai VFA merupakan persentase volume rongga di antara agregat yang terisi aspal terhadap nilai VMA, maka semakin kecil nilai VMA menyebabkan nilai persentase VFA semakin besar, karena nilai VFA merupakan nilai kadar aspal efektif (Pbe) dan mempunyai nilai tetap di dalam campuran beton aspal padat.

Rongga udara yang tersisa (VIM) di dalam campuran beton aspal merupakan celah-celah yang memisahkan antar campuran agregat. Dengan mendasarkan hukum mekanika bahan yang menyatakan bahwa titik-titik hubung suatu struktur adalah merupakan titik-titik kelemahan struktur, maka semakin besar nilai VIM di dalam campuran beton aspal padat mengakibatkan hubungan antar agregat semakin longgar sehingga campuran beton aspal padat semakin rendah kemampuannya dalam menerima beban seperti ditunjukkan di dalam Tabel 4.53, dimana semakin besar rongga udara yang tersisa (VIM) di dalam campuran beton aspal padat mengakibatkan nilai struktural (stabilitas) campuran beton aspal padat semakin rendah.

Berdasarkan nilai VIM di dalam Tabel 4.53 dan hukum mekanika bahan, tampak jelas kenapa gabungan kombinasi agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) menghasilkan nilai struktural paling baik (peringkat pertama) dibandingkan pengaruh agregat kasar lainnya ketika campuran beton aspal dipadatkan 2x400 tumbukan. Hal ini dikarenakan gabungan kombinasi agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) memiliki nilai VIM paling kecil (2,55%) sehingga mempunyai stabilitas paling tinggi (2751,3 kg). Pada Tabel 4.53 juga menunjukkan gabungan kombinasi agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) menghasilkan nilai kelelahan plastis 2,38 mm (syarat spesifikasi min. 2,00 mm) dan nilai VFA 80,83%. Nilai struktural campuran yang demikian menunjukkan campuran beton aspal yang cukup kedap air, stabil, dan mempunyai kelenturan yang cukup untuk mengakomodasi beban lalu lintas berat.

Sedangkan campuran yang memakai agregat kasar 100% pecah nilai strukturalnya terletak pada peringkat ke-empat (Tabel 4.53) dengan nilai stabilitas sebesar 2439 kg, rongga udara (VIM) sebesar 2,90% (syarat spesifikasi min. 2,50%), nilai VFA 79,64% dan nilai kelelahan plastis 1,71 mm (syarat spesifikasi min. 2,00 mm). Nilai kelelahan plastis yang kurang dari 2,00 mm ini menunjukkan campuran beton aspal mempunyai fleksibilitas yang rendah dan lebih mudah mudah retak dibandingkan campuran yang mengandung agregat kasar *rounded*.

Adapun campuran yang memakai agregat kasar 100% *rounded* nilai strukturalnya terletak pada peringkat paling bawah (ke-lima) seperti terlihat pada Tabel 4.53 dengan nilai stabilitas sebesar 2268 kg, rongga udara (VIM) sebesar 3,07% (syarat spesifikasi min. 2,50%), VFA 76,64% dan nilai kelelahan plastis

2,94 mm (syarat spesifikasi min. 2,00 mm). Walaupun campuran yang memakai agregat kasar 100% *rounded* memiliki stabilitas lebih rendah dibandingkan campuran yang memakai agregat kasar 100% pecah, namun campuran yang memakai agregat kasar 100% *rounded* lebih baik dibandingkan campuran yang memakai agregat kasar 100% pecah karena campuran beton aspal padat yang dihasilkan mempunyai kelelehan plastis yang lebih baik.

Berdasarkan hasil ekstraksi benda uji campuran beton aspal setelah dipadatkan 2x400 tumbukan (Tabel 4.21 dan Gambar 4.4) menunjukkan gabungan antara agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) setelah dipadatkan 2x400 tumbukan pada kepadatan mutlak (*refusal*) mempunyai ketahanan terhadap beban yang bekerja lebih baik dibandingkan pemakaian agregat kasar 100% pecah maupun pemakaian agregat kasar 100% *rounded*. Dimana campuran yang mengandung gabungan agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) mengalami pemecahan agregat paling sedikit (maks. 0,99% pada agregat kasar ukuran 3/8"), sedangkan yang mengandung agregat kasar 100% pecah mengalami pemecahan agregat paling banyak (maks. 5,29%) pada agregat kasar No. 4, dan campuran yang mengandung agregat kasar 100% *rounded* mengalami pemecahan agregat maks. 2,91% pada agregat halus No. 8 (Tabel 2.1 dan Gambar 4.3). Pengaruh pecahnya agregat ini mengakibatkan perubahan gradasi terhadap gradasi agregat campuran semula. Dari Gambar 4.4 tampak gradasi agregat campuran setelah mengalami pemadatan 2x400 tumbukan pada campuran yang mengandung gabungan agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) menghasilkan gradasi yang paling baik dimana gradasi yang dihasilkan tidak jauh dari gradasi semula dan agregat halus masih diluar batas daerah larangan bawah (fraksi agregat halus tidak masuk ke dalam daerah larangan). Campuran yang mengandung agregat kasar 100% pecah menghasilkan gradasi yang paling halus sedangkan agregat kasar 100% *rounded* menghasilkan gradasi yang lebih kasar dibandingkan yang mengandung agregat kasar 100% pecah namun lebih halus apabila dibandingkan yang mengandung gabungan agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*). Baik campuran yang mengandung agregat kasar 100% pecah maupun agregat kasar 100% *rounded* menghasilkan fraksi agregat halus masuk ke dalam daerah larangan. Dari hasil ekstraksi benda uji ini juga membuktikan bahwa gabungan antara agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) akan memberikan kinerja yang paling baik terhadap campuran beton aspal dibandingkan pemakaian kombinasi agregat kasar yang lain.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian pemakaian beberapa kombinasi gabungan antara agregat kasar pecah dengan agregat kasar *rounded* menunjukkan agregat kasar *rounded* terbukti dapat memperbaiki nilai struktural campuran beton aspal yang hanya mengandung agregat kasar pecah maupun agregat kasar *rounded* saja pada kadar aspal optimum (KAO) 5,5% dengan mendasarkan metode pendekatan kepadatan mutlak (pemadatan 2x400 tumbukan) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.53.

Pada pendekatan kepadatan mutlak campuran beton aspal dipaksa menjadi mampat dan mempunyai rongga udara (VIM) yang paling minimum sehingga walaupun dipadatkan terus, campuran tidak akan bisa bertambah lebih padat lagi.

Di dalam campuran beton aspal, rongga udara yang tersisa (VIM) di dalam campuran beton aspal merupakan celah-celah yang memisahkan antar campuran agregat. Dengan mendasarkan hukum mekanika bahan yang menyatakan bahwa titik-titik hubung suatu struktur adalah merupakan titik-titik kelemahan struktur, maka semakin besar nilai VIM di dalam campuran beton aspal padat mengakibatkan hubungan antar agregat semakin longgar sehingga campuran beton aspal padat semakin rendah kemampuannya dalam menerima beban.

Dari hasil pengujian menunjukkan nilai struktural campuran beton aspal padat yang dihasilkan oleh campuran yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* terhadap total agregat kasar mempunyai nilai struktural paling baik, kemudian diikuti oleh agregat kasar yang mengandung (25% *rounded*, 75% *rounded*, 100% pecah) dan yang terakhir adalah campuran yang hanya mengandung agregat kasar 100% *rounded*, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.53.

Campuran beton aspal yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* terhadap total agregat kasar memiliki nilai VIM paling kecil (2,55%) dan nilai stabilitas paling tinggi (2751,3 kg) dibandingkan penggunaan agregat kasar lainnya, sedangkan nilai kelelahan plastisnya 2,38 mm (syarat spesifikasi min. 2,00 mm) dan nilai VFA 80,83%. Nilai struktural campuran yang demikian menunjukkan campuran beton aspal yang cukup kedap air, stabilitas tinggi dan mempunyai kelenturan yang memadai untuk mengakomodasi beban lalu lintas berat.

Karena nilai VIM yang dihasilkan campuran beton aspal padat yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* terhadap total agregat kasar adalah yang paling minimum di antara campuran yang menggunakan agregat kasar lainnya, maka dengan mendasarkan hukum mekanika bahan, campuran beton aspal yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* terhadap total agregat kasar akan mempunyai kemampuan menerima beban paling tinggi dibandingkan campuran yang mengandung agregat kasar lainnya. Dengan demikian tampak jelas kenapa gabungan kombinasi agregat kasar (50% pecah + 50% *rounded*) menghasilkan nilai struktural paling baik dibandingkan pengaruh agregat kasar lainnya ketika campuran beton aspal dipadatkan 2x400 tumbukan.

Berdasarkan hasil ekstraksi setelah campuran dipadatkan 2x400 tumbukan menunjukkan pemakaian agregat kasar 50% *rounded* mengalami pemecahan pada agregat kasar 3/8" sebesar 0,99%, pemakaian agregat kasar 100% pecah mengalami pemecahan pada agregat kasar No. 4 sebesar 5,29% dan untuk pemakaian agregat kasar 100% *rounded* mengalami pemecahan pada agregat halus No. 8 sebesar 2,91%. Akibat pecahnya agregat ini menghasilkan gradasi campuran yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* tidak banyak berubah dan masih diluar daerah larangan sedangkan pemakaian agregat kasar 100% pecah maupun 100% *rounded* menghasilkan gradasi yang lebih halus dan masuk daerah larangan. Dengan demikian menunjukkan pemakaian agregat kasar 50% *rounded* akan lebih tahan menerima beban yang bekerja dan menghasilkan nilai struktural yang paling baik dibandingkan pemakaian agregat kasar lainnya.

Berdasarkan nilai rongga udara (VIM) yang tersisa di dalam campuran dan hasil ekstraksi benda uji setelah campuran beton aspal dipadatkan 2x400 tumbukan membuktikan campuran beton aspal yang mengandung agregat kasar 50% *rounded* terhadap total agregat kasar mempunyai nilai struktural paling baik dibandingkan pemakaian agregat kasar 100% pecah maupun 100% *rounded*. Hal ini sekaligus membuktikan hipotesis (Bab. I) yang menyatakan penggabungan antara sifat karakteristik agregat kasar pecah dengan agregat kasar *rounded* dapat memperbaiki nilai struktural campuran beton aspal sehingga diperoleh campuran beton aspal dengan stabilitas yang tinggi dan fleksibilitas yang mencukupi untuk mengakomodasi beban lalu lintas berat.

## 5.2. Saran

Untuk mendapatkan campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang baik, maka disarankan :

- a) Karena gradasi menerus merupakan gradasi yang rentan terhadap proporsi masing-masing fraksi agregat yang akan dipakai, maka dalam penentuan gradasi campuran harus menggunakan analisa saringan basah untuk mengetahui kandungan masing-masing fraksi agregat yang mewakili.
- b) Pemakaian agregat kasar *rounded* antara 25% sampai dengan 75% terhadap total agregat kasar disarankan untuk digunakan apabila campuran mendasarkan metode kepadatan mutlak. Sedangkan pemakaian agregat kasar *rounded* sebanyak 50% terhadap total agregat kasar apabila campuran mendasarkan metode kepadatan mutlak direkomendasikan untuk mendapatkan campuran beton aspal dengan kinerja terbaik dimana lapis perkerasan yang dihasilkan cukup kedap air, kokoh (stabilitas tinggi) dengan kelenturan yang memadai (fleksibilitas mencukupi) untuk mengakomodasi repetisi beban lalu lintas berat.
- c) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai :
  - 1) Pengaruh agregat kasar *rounded* berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) masing-masing kombinasi agregat kasar pecah dengan *rounded*.
  - 2) Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap jumlah pemadatan antara 2x75 tumbukan sampai 2x400 tumbukan maupun lebih dari 2x400 tumbukan.
  - 3) Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap pemakaian berbagai variasi gradasi menerus baik di atas kurva Fuller dan dibawah kurva Fuller maupun gradasi yang memotong kurva Fuller.
  - 4) Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap sifat *interlocking* agregat menggunakan pengujian kekuatan geser langsung (*direct shear test*), sehingga dapat dibandingkan sudut geser yang diperoleh akibat pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap campuran beton aspal.
  - 5) Pengaruh agregat kasar *rounded* terhadap deformasi plastis (*rutting*) dengan menggunakan alat *wheel tracking machine*.
  - 6) Pengaruh agregat kasar *rounded* dengan menggunakan variasi agregat halus pasir muntlan.
  - 7) Pengaruh indeks kelonjongan/kepimpinan pada agregat kasar *rounded* terhadap nilai struktural campuran beton aspal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Core Team Service For North Java Road Improvement Project Under ADB Loan N.1428-INO, (1999), *"Seminar Material"*, Desember 1999, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (1976), *Manual Pemeriksaan Bahan Jalan*, No. 01/MN/BM/1876.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*, SKBI-2.4.26.1987 UDC : 625.75(02), Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1990), *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*, SK SNI M-58-1990-03, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1999), *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, Rancangan SK SNI.
- Departemen KIMBANGWIL, (1999), *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, No : 023/T/BM/1999 SK No : 76/KPTS/DB/1999, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2000), *Sertifikasi Tenaga Inti Konsultan Supervisi, "Modul-VI Pekerjaan Lapis Permukaan Aspal"*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Departemen KIMPRASWIL, (2001), *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi Agustus 2001 (Terakhir), Pusat Penelitian Dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Bandung.
- Ismanto, B. (2001), *Perancangan Perkerasan Dan Bahan*, Penerbit ITB, Bandung.
- PT. Jasa Marga, (2002), *Spesifikasi Umum*, Semarang.
- Robert D. Krebs & Richard D. Walker, *"Highway Materials"*, MCGraw-Hill Book Company, 1971.
- Sudarsono, D.U. (1976), *Prinsip-Prinsip Beton Aspal Dan Pengaspalan Dengan Butas*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Sudarsono, D.U. (1985), *Rencana Campuran (Mix Design)*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Sukirman, S. (1992), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Sukirman, S. (2003), *Beton Aspal Campuran Panas, Granit*, Jakarta.
- Sjahdanulirwan, M dan Tatang Dachlan, A. (1997), *"Beberapa Teknologi Khas Dibidang Jalan Yang Sangat Diperlukan Dalam Pembinaan Jaringan Jalan Pantura Jawa"*, Makalah Teknik Bidang II No : 17, *Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-5 (KRTJ-5) Wilayah Tengah Dan Wilayah Timur*, Buku-2, Yogyakarta.
- The Asphalt Institute, (1971), *Asphalt Technology And Construction*, Instructor's Guide, Educational Series No. 1 (ES-1), January, 1971.
- The Asphalt Institute, (2001), *For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Mix Design Methods, Manual Series No. 2 (MS-2), Sixth Edition.
- The Asphalt Institute, (2001), *Superpave Mix Design*, Superpave Series No. 2 (SP-2), Third Edition.
- Wiratmoko, H., Mulyono, A.T. dan Yusbar, (1999), *"Pengaruh Bentuk Kadar Agregat Kasar Terhadap Nilai Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat"*, *Simposium II FSTPT*, Surabaya.
- Zamhuri, K.A., Sterling dan Toole, (1997), *"Penyempurnaan Spesifikasi Campuran Aspal Panas"*, Makalah Teknik Bidang II No : 33, *Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-5 (KRTJ-5) Wilayah Tengah Dan Wilayah Timur*, Buku-2, Yogyakarta.