

628.114

PRA

P a



**PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PASANG (ROB)
TERHADAP KINERJA LATASTON (*HRS-WC*) BERDASARKAN
UJI *MARSHALL* DAN UJI DURABILITAS MODIFIKASI**

TESIS

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh :

**AGUNG HARI PRABOWO
NIM. : L4A.001.025**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2004



HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PASANG (ROB)
TERHADAP KINERJA LATASTON (HRS-WC) BERDASARKAN
UJI MARSHALL DAN UJI DURABILITAS MODIFIKASI**

Disusun Oleh

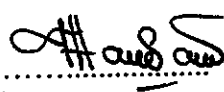
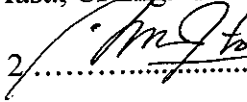
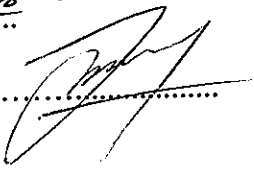
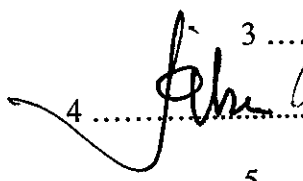
**AGUNG HARI PRABOWO
NIM. L4A.001.025**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:

30 Agustus 2004

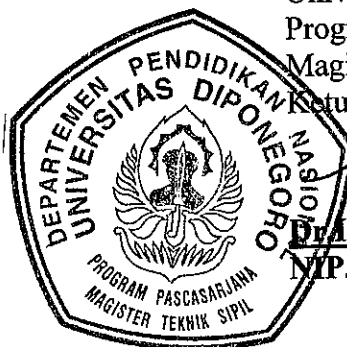
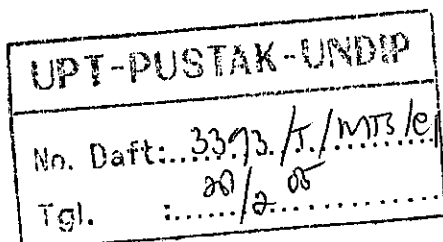
Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

- 1. Ketua : Dr. Ir. SPR Wardani, MSc., MIEAust., CPEng. 1 
- 2. Sekretaris : Ir. Djoko Purwanto, MS. 2 
- 3. Anggota 1 : Ir. Muhrozi, MS. 3 
- 4. Anggota 2 : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT. 4 
- 5. Anggota 3 : Ir. Roeswan Soediro, MS. 5

Semarang, 30 Agustus 2004
Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil
Ketua,


**Dr. Ir. Suripin, M.Eng
MP.131668511**



ABSTRAK

PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PASANG (ROB) TERHADAP KINERJA LATASTON (HRS-WC) BERDASARKAN UJI MARSHALL DAN UJI DURABILITAS MODIFIKASI

Beberapa ruas jalan di Indonesia yang terletak di daerah yang berhubungan dengan pantai (khususnya Kota Semarang) digenangi oleh air rob, yang kandungan asamnya tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir rob yang melanda Kota Semarang genangnya semakin luas. Beberapa ruas jalan dengan perkerasan lentur tergenang air rob, mengalami kerusakan. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh air laut pasang (rob) terhadap kinerja campuran aspal panas, dalam hal ini Lataston HRS-WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru (2001).

Hasil persiapan dan pengujian bahan baik agregat dan aspal serta penentuan gradasi campuran HRS-WC menunjukkan hasil sesuai persyaratan. Selanjutnya dilakukan penelitian tahap I untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan menggunakan metoda Marshall. Penelitian tahap II untuk mencari nilai Marshall pada kondisi standard (2×75 tumbukan) dan *refusal density* (2×400 tumbukan) untuk menentukan *VIM*, *VMA*, *VFA*, *density*, stabilitas, *Flow*, *MQ*, serta *IRS* perendaman standard. Sedangkan pengujian perendaman modifikasi untuk menentukan nilai indeks durabilitas pertama (r , R) dan nilai indeks durabilitas kedua (S_a , S_A). Untuk pengujian perendaman dipakai 4 (empat) sampel air yaitu air laboratorium, air rob LIK Kaligawe, air rob Jalan Ronggowarsito dan air rob Jalan Mpu Tantular di Kota Semarang. Pemeriksaan yang dilakukan terhadap sampel air adalah warna, bau, pH, kadar chlorida, kadar sulfat, nilai *Total Alkalinity* dan nilai Total Keasaman.

Penelitian tahap I memperoleh KAO antara 7% - 7,5% dan dipilih 7,25%. Dari hasil penelitian tahap II terlihat bahwa hubungan nilai Marshall terhadap lama perendaman, untuk hasil analisa void memenuhi persyaratan pada tingkat kepadatan standar (2×75 tumbukan), sedangkan pada kepadatan *refusal density* (2×400 tumbukan) nilai *VIM* untuk keempat kondisi air rob pada perendaman 24 jam semua tidak memenuhi persyaratan. Nilai pengujian stabilitas, *flow*, *MQ* pada kondisi standar dan kondisi *refusal density* untuk semua nilai Total Keasaman dan lama perendaman memenuhi persyaratan. Nilai *IRS* pada kondisi standar dan *refusal density* untuk nilai Total Keasaman 120 jam dan 168 jam tidak memenuhi persyaratan, ini disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah.

Pengujian perendaman modifikasi menghasilkan Indeks Durabilitas I, dimana lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks (r dan R) baik pada kondisi standar dan kondisi *refusal density*, yang berarti semakin kehilangan kekuatan. Perendaman modifikasi juga menghasilkan Indeks Durabilitas II, di mana lama perendaman mengakibatkan turunya nilai Indeks Stabilitas Sisa (S_a) baik pada kondisi standar dan *refusal density*, yang berarti tingkat keawetan HRS-WC semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin lama perendaman air rob dan tingginya tingkat keasaman membuat kerapatan campuran berkurang dan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah.

Berdasarkan analisa void menunjukkan bahwa pemilihan kadar aspal optimum 7,25% (titik tengah 7%) belum mendapatkan kinerja HRS-WC yang terbaik. Diperkirakan kadar aspal optimum berada antara 7,25% dan 7,5%.

HRS-WC yang terendam air dengan kondisi netral (nilai pH mendekati 7) kinerjanya dibandingkan yang terendam air rob yang bersifat asam maupun basa. Tidak dapat disimpulkan sebanding bahwa kadar chlorida mempengaruhi kinerja HRS-WC karena yang lebih berpengaruh adalah Keasaman (semakin tinggi nilai Total Keasaman, akan menurunkan kinerja HRS-WC). Sedangkan kadar sulfat yang terkandung dalam air rob, kinerja HRS-WC semakin turun. Hal ini terjadi untuk sampai dengan 53 mg/lit, karena kadar sulfat yang lebih besar dari 53 mg/lit justru menetralkan keasaman (terbukti nilai Total Keasaman mengecil kembali) sehingga kinerja HRS-WC naik kembali.

Semakin tinggi tingkat keasaman (nilai Total Keasaman) air laut pasang (rob) akan semakin tinggi tingkat keawetan konstruksi perkerasan HRS-WC. Dan konstruksi perkerasan HRS-WC hanya terendam air rob terus menerus selama 72 jam.

Kata Kunci : HRS-WC, Refusal Density, Total Keasaman, Indeks Durabilitas

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF SEA WATER TIDE (ROB) IMMERSION TO THE PERFORMANCE OF HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE (HRS-WC) BASED ON MARSHALL TEST AND MODIFICATION OF DURABILITY TEST

Most of roads in Indonesia, particularly the ones lie on the seashore areas, such as Semarang, are usually immersed by highly acid seawater tide (rob). In recent years, the area of Semarang, which are immersed by rob is getting wide. Some of the flexible pavement roads, which are immersed by the rob, get broken. Considering those, it is essential to conduct a study on the influence of seawater tide (rob) to the performance of hot asphalt mixture – the latest specification of latest HRS-WC (2001).

The findings of preparation and test to the sample material, the amount of both aggregate and asphalt, as well as the gradation of HRS-WC mixture indicate that the sample materials meet the requirement of latest specification. Marshall method was applied at the first term research to find the Optimum Asphalt Content (OAC). The second term research was aimed to get the value of Marshall at standard condition (2 x 75 blows) as well as the value of refusal density (2 x 400 blows) which was aimed to discover VIM, VMA, VFA, density, stability, flow, MQ, and the IRS of standard immersion. The modification of immersion was applied to find the first value of durability index (r,R) and the value of second durability index (S_a , S_A). Four samples of rob water, those were rob water taken from laboratory, from LIK Semarang, from Ronggowarsito street, and from Mpu Tantular street, were used in the immersion test. The samples of water were checked their colour, smell, pH, level of chloride, level of sulphate, total value of alkalinity and the total value of acid.

First term research found that the OAC value was 7% to 7.5% and the OAC 7.25% was decided as the sample material. The second term research showed that there was a correlation between Marshall value and the immersion time, the result of void analysis met the requirement at standard density level (2x75 blows). At refusal density level (2x400 blows), the VIM values of the four samples of rob water did not meet the requirement at 24 hour of immersion. The value of stability test, flow and MQ, at standard condition and at refusal condition for all immersion time and total acid meet the required standard. IRS value at standard and refusal condition for immersion time of 120 hours and 168 hours, the IRS value did not meet the required value, as the asphalt capability to maintain cohesion and adhesion between aggregate was getting weak.

Modification of immersion test discovered Durability I Index, where immersion time caused the increasing of index score (r and R) at both standard condition and refusal density condition. This indicates that the HRS-WC losses its power. Modification of immersion also discovered Durability II index, where immersion time leads index score of residual stability (S_a) to decrease at both standard and refusal density condition. This result indicates that the duration level of the HRS-WC is getting low. This also shows that the longer time HRS-WC immersed in rob water and the higher the acid level of the rob water resulted in decreasing density level of the mixture and decreasing the capability of asphalt in maintaining cohesion and adhesion of aggregate. Void analysis shows that optimum asphalt content 7.25% (Median of 7% and 7.5%) has not resulted the best performance of HRS-WC. It is estimated that optimum asphalt content is between 7% and 7.25%.

HRS-WC immersed in neutral water (pH closes to 7) has better performance compared to the one immersed in acid rob water or in base rob water. It cannot be concluded specifically that the level of chloride influenced performance of HRS-WC because it was found that total value of acid responsible for the decreasing of HRS-WC performance. It was also found that the sulphate degree of rob water caused decreasing of HRS-WC performance. This happened to the samples with sulphate degree of 53 mg/l as the sulphate degree more than 53 mg/l can neutralize the acid of rob water (the findings show that the higher the sulphate degree causes the total value of acid). In that condition, HRS-WC performance was getting better.

It can be concluded that the high level of acid of seawater tide (rob) will reduce duration of HRS-WC pavement construction. When this construction is immersed in rob water, it can only maintain asphalt and aggregate cohesion and adhesion for 72 hours.

Key Word : HRS-WC, Refusal Density, Total Value of Acid, Durability Index.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan petunjuk-Nya sehingga tesis dengan judul Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) terhadap Kinerja Lataston (*HRS-WC*) Berdasarkan Uji *Marshall* dan Uji Durabilitas Modifikasi.

Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima petunjuk, saran, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

- 1) Dr. Ir. Suripin, M. Eng., selaku Ketua Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 2) Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA., selaku Sekretaris Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro,
- 3) Dr. Ir. SPR Wardani, MSc., MIEAust CPEng., selaku Dosen Pembimbing I,
- 4) Ir. Djoko Purwanto, MS., selaku Dosen Pembimbing II,
- 5) Ir. Muhrozi, MS., dan Drs. Bagus Priyatno, ST., MT., selaku Tim Pembahas.
- 6) Ir. Roeswan Soediro, MS. selaku Dosen Penguji.
- 7) Para dosen dan staf Administrasi Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- 8) Pimpinan dan staf Laboratorium Teknik Sipil Akademi Teknologi Semarang,
- 9) Pimpinan dan staf Laboratorium Growth Center Kopertis Wilayah VI,
- 10) Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.

Mudah-mudahan tesis ini berguna untuk pengembangan lebih lanjut bagi kemajuan bidang Ke Bina Margaan pada umumnya dan pengembangan teknologi konstruksi Jalan pada khususnya.

Semarang, Agustus 2004

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRAC	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Manfaat Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Aspal.....	5
2.3. Agregat.....	7
2.3.1. Agregat Kasar.....	7
2.3.2. Agregat Halus.....	8
2.3.3. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	8
2.4. Perencanaan Campuran <i>HRS-WC</i>	9
2.5. Pengujian Campuran Beraspal Panas.....	12
2.5.1. <i>Marshall Test</i>	12
2.5.2. Pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal panas.....	12
2.6. Penelitian yang pernah dilakukan.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Umum.....	22
3.2. Bahan Penelitian.....	24
3.3. Peralatan Penelitian.....	24
3.4. Pengujian Kualitas Air Laut Pasang (<i>Rob</i>).....	25
3.5. Pengujian dan Persyaratan Bahan.....	29
3.5.1. Aspal.....	29
3.5.2. Agregat dan <i>Filler</i>	30
3.6. Metoda Campuran <i>HRS-WC</i>	30
3.6.1. Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana.....	32
3.6.2. Pengujian <i>Marshall</i>	34

3.6.3. Pengujian Perendaman Sisa Standard.....	36
3.6.4. Pengujian Perendaman Sisa Modifikasi.....	36
3.6.5. Pengujian Analisa campuran aspal panas.....	37
3.7. Hipotesa.....	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1. Hasil Pengujian Material.....	40
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Kualitas air laut pasang (Rob).....	40
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	41
4.1.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal.....	43
4.1.4. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dan Indek Stabilitas Sisa Tahap I	46
4.1.5. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> (2 x 75) tumbukan dan (2 x 400)	
tumbukan serta uji perendaman standard dan Modifikasi	
pada Kadar Aspal Optimum.....	47
4.2. Pembahasan.....	53
4.2.1. Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i>	53
4.2.2. Evaluasi Hasil Laboratorium terhadap Karakteristik Campuran	
<i>HRS-WC</i> Tahap I terhadap Spesifikasi.....	62
4.2.3. Karakteristik <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard dan	
kondisi <i>refusal density</i> terhadap lama perendaman.....	63
4.2.4. Karakteristik Perendaman Modifikasi Campuran <i>HRS-WC</i>	
terhadap lama perendaman.....	84
4.2.5. Evaluasi Hasil laboratorium uji <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> dan Perendaman	
Modifikasi Tahap II terhadap pengaruh lama perendaman.....	93
4.2.6. Evaluasi Kualitas/ Unsur Kimiawi Air Rob terhadap	
Karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendam Modifikasi.....	98
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	117
5.1. Kesimpulan.....	117
5.2. Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN.....	125

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Pengujian dan Persyaratan untuk Aspal Penetrasi 60/70.....	7
2.2.	Pengujian dan Persyaratan untuk Agregat dan <i>Filler</i>	9
2.3.	Ketentuan sifat – sifat Campuran.....	10
2.4.	Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal.....	11
2.5.	Contoh batas-batas “Bahan bergradasi senjang”.....	11
3.1.	Target Gradasi dengan ukuran maksimum 19 mm.....	31
3.2.	Jumlah Sampel Penelitian.....	33
4.1.	Hasil Pemeriksaan Kualitas air laut pasang (Rob).....	40
4.2.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	41
4.3.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Penetrasi 60/70 ex Pertamina.....	43
4.4.	Hasil test <i>Marshall</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan variasi kadar aspal pada (2 x75) tumbukan.....	46
4.5.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 7,469 mg/lt.....	48
4.6.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 56,357 mg/lt.....	48
4.7.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 11,543 mg/lt.....	48
4.8.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 29,197 mg/lt.....	49
4.9.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 7,469 mg/lt.....	49
4.10.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 56,357 mg/lt.....	49
4.11.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 11,543 mg/lt.....	50
4.12.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 29,197 mg/lt.....	50
4.13.	Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan.....	51
4.14.	Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan.....	51
4.15.	Hasil Pengujian perendaman standard Tahap II pada kondisi <i>Refusal Density</i> (2 x 400) tumbukan.....	51
4.16.	Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi <i>Refusal</i>	

	<i>Density</i> (2x400) tumbukan.....	52
4.17.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Density</i> campuran <i>HRS-WC</i>	53
4.18.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VMA</i> campuran <i>HRS-WC</i>	54
4.19.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VFA</i> Campuran <i>HRS-WC</i>	55
4.20.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>VIM</i> campuran <i>HRS-WC</i>	56
4.21.	Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas campuran <i>HRS-WC</i>	57
4.22.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Flow</i> campuran <i>HRS-WC</i>	58
4.23.	Kadar Aspal terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i> campuran <i>HRS-WC</i>	60
4.24.	Kadar Aspal terhadap Nilai Indek Stabilitas Sisa campuran <i>HRS-WC</i>	61
4.25.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>density</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	63
4.26.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>density</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	63
4.27.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VMA</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	66
4.28.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VMA</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	66
4.29.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VFA</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	68
4.30.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VFA</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	69
4.31.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VIM</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	71
4.32.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>VIM</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	71
4.33.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standar (2 x 75).....	74
4.34.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	74
4.35.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>Flow</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	76
4.36.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>Flow</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	77
4.37.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>MQ</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	79
4.38.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>MQ</i> pada kondisi <i>refusal</i> <i>density</i> (2 x 400).....	79
4.39.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>IRS</i> pada kondisi standar (2 x 75).....	82

4.40.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>IRS</i> pada kondisi <i>refusal density</i> (2 x 400).....	82
4.41.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>r</i> pada kondisi standar (2 x 75)..	84
4.42.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>r</i> pada kondisi <i>refusal density</i> (2 x 400).....	84
4.43.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>R</i> pada kondisi standar (2 x 75)..	86
4.44.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>R</i> pada kondisi <i>refusal density</i> (2 x 400).....	86
4.45.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>S_a</i> pada kondisi standar (2 x 75).	89
4.46.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>S_a</i> pada kondisi <i>refusal density</i> (2 x 400).....	89
4.47.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>S_A</i> pada kondisi standar (2 x 75)..	90
4.48.	Pengaruh lama perendaman terhadap nilai <i>S_A</i> pada kondisi <i>refusal density</i> (2 x 400).....	90
4.49.	Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air Laboraturium (Total Keasaman 7,469 mg/lt) terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) dan <i>Refusal Density</i> (2 x 400).....	93
4.50.	Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob LIK (Total Keasaman 56,357 mg/lt) terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) dan <i>Refusal Density</i> (2 x 400).....	94
4.51.	Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob Jl.Ronggowarsito (Total Keasaman 11,543 mg/lt) terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) dan <i>Refusal Density</i> (2 x 400)....	94
4.52.	Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob Jl.Mpu Tantular (Total Keasaman 29,197 mg/lt) terhadap karakteristik <i>Marshall</i> dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) dan <i>Refusal Density</i> (2 x 400).....	95
4.53.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Kepadatan (gr/cc)	98
4.54.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai VMA (%)	99
4.55.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai VFA (%)	99
4.56.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai VIM (%)	100
4.57.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Stabilitas (kg)	101
4.58.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Flow (mm)	102
4.59.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai MQ (kg/mm).....	102
4.60.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Indek Durabilitas I. (<i>r</i> , %).....	103
4.61.	Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Indek Durabilitas II (<i>S_a</i> , %).....	104
4.62.	Hubungan Kadar Chorida dengan dengan Kepadatan (gr/cc)	105
4.63.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai VMA (%)	105
4.64.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai VFA (%)	106

4.65.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai VIM (%).....	107
4.66.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai Stabilitas (kg)	107
4.67.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai Flow (mm)	108
4.68.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai MQ (kg/mm)	108
4.69.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai Indek Durabilitas I (r, %)... ..	109
4.70.	Hubungan Kadar Chorida dengan Nilai Indek Durabilitas II (Sa, %)... ..	110
4.71.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Kepadatan (gr/cc)	111
4.72.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai VMA (%)	111
4.73.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai VFA (%)	112
4.74.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai VIM (%)	113
4.75.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Stabilitas (kg)	113
4.76.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Flow (mm)... ..	114
4.77.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai MQ (kg/mm)	115
4.78.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Indek Durabilitas I (r, %)	115
4.79.	Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Durabilitas II (Sa, %)	116

DAFTAR GAMBAR

	Judul	Halaman
2.1.	Gambar Skema Kurva Keawetan.....	15
3.1.	Bagan Alir Metode Penelitian.....	23
3.2.	Target Gradasi.....	31
4.1.	Penentuan Kadar Aspal Optimum Penetrasi 60/70.....	47
4.2.	Grafik hubungan Kadar Aspal vs <i>Density</i>	53
4.3.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VMA</i>	54
4.4.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VFA</i>	55
4.5.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>VIM</i>	56
4.6.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas.....	57
4.7.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Flow</i>	59
4.8.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>Marshall Quotient</i>	60
4.9.	Grafik hubungan Kadar Aspal dan <i>IRS</i>	61
4.10.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>density</i> pada kondisi standard (2x75).....	64
4.11.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>density</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	64
4.12.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>VMA</i> pada kondisi Standard (2x75).....	66
4.13.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>VMA</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	67
4.14.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>VFA</i> pada kondisi Standard (2x75).....	69
4.15.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>VFA</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x40).....	69
4.16.	Grafik hubungan lama perendaman nilai <i>VIM</i> terhadap pada kondisi Standard (2x75).....	72
4.17.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>VIM</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	72
4.18.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi Standard (2x75).....	74

4.19.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	75
4.20.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>Flow</i> pada kondisi Standard (2x75).....	77
4.21.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>Flow</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	77
4.22.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>MQ</i> pada kondisi Standard (2x75).....	80
4.23.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>MQ</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	80
4.24.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>IRS</i> pada kondisi Standard (2x75).....	82
4.25.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai <i>IRS</i> pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	83
4.26.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (r) pada kondisi Standard (2x75).....	85
4.27.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (r) pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	85
4.28.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (R) pada kondisi Standard (2x75).....	86
4.29.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (R) pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	87
4.30.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (Sa) pada kondisi Standard (2x75).....	89
4.31.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (Sa) pada kondisi <i>Refusal density</i> (2x400).....	90
4.32.	Grafik hubungan lama peredaman terhadap nilai (SA) pada kondisi Standard (2x75).....	91
4.33.	Grafik hubungan nilai (SA) terhadap lama peredaman pada Kadar Aspal optimum dan kondisi standard (2x400).....	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1	Laboratirium Kalibrasi	125
Lampiran A.2	Rasio Korelasi Stabilitas	126
Lampiran B.1	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	127
Lampiran B.2	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	128
Lampiran B.3	Pemeriksaan Berat Jenis Filler Debu Batu, Pemeriksaan Indek Kepipihan Batu Bongkaran	129
Lampiran B.4	Pemeriksaan Keausan Agregat Batu dengan Mesin Los Angeles, Kelekatan Agregat Baru terhadap Aspal, Pemeriksaan <i>Sand</i> <i>Equivalent</i> Baru	130
Lampiran B.5	Pemeriksaan Soundness Agregat Kasar	131
Lampiran C.1	Laporan Pengujian Aspal Keras	132
Lampiran C.2	Pengujian Penetrasi	133
Lampiran C.3	Pemeriksaan Titikl Lembek	134
Lampiran C.4	Pengujian Daktilitas	135
Lampiran C.5	Pengujian Kelarutan Dalam CCL4	136
Lampiran C.6	Pengujian Titik Nyala	137
Lampiran C.7	Pengujian Berat Jenis	138
Lampiran C.8	Pengujian Kehilangan Berat	139
Lampiran C.9	Pengujian Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	140
Lampiran C.10	Pengujian Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	141
Lampiran D.1	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji Marshall Test Campuran Aspal Lataston HRS-WC	142
Lampiran D.2	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methode Marshall	143
Lampiran E.1	Perhitungan Bahan Susun Benda Uji Marshall Test Campuran Aspal Lataston HRS-WC	144
Lampiran E.2	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methode Marshall	145
Lampiran E.3	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methode Marshall	146
Lampiran E.4	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methode Marshall	147
Lampiran E.5	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methode Marshall	148

Lampiran E.6	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methodode Marshall	149
Lampiran E.7	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methodode Marshall	150
Lampiran E.8	Sifat Campuran-Agregat-Aspal Pertamina-Methodode Marshall	151
Lampiran E.8	Sifat Campuran Agregat-Aspal Pertamina-Methodode Marshall	152

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>Assosiation of American Society Highway Transport Organization</i>
<i>HRS-WC</i>	= <i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Society for Testing and Material</i>
<i>BS</i>	= <i>British Standards Institution</i>
<i>Gsb</i>	= Berat jenis kering/ <i>bulk spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gsa</i>	= Berat jenis semu/ <i>apparent spesific gravity</i> (gr/cc)
<i>Gse</i>	= Berat jenis efektif/ <i>bulk spesific gravity SSD</i> (gr/cc)
<i>Gsb_{tot} agregat</i>	= Berat jenis kering agregat gabungan (gr/cc)
<i>P₁, P₂, P₃, ...</i>	= Prosentase berat dari masing-masing agregat
<i>Gsb₁, Gsb₂, Gsb₃, ...Gsb_n</i>	= Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>Gsa_{tot} agregat</i>	= Berat jenis semu agregat gabungan
<i>Gsa₁, Gsa₂, Gsa₃, ...Gsa_n</i>	= Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>Gse_{tot} agregat</i>	= berat jenis efektif agregat gabungan
<i>Gse₁, Gse₂, Gse₃, ...Gse_n</i>	= Berat jenis efektif dari masing-masing agregat 1,2,3..n
<i>V_{bulk}</i>	= Volume campuran setelah pemadatan (cc)
<i>W_{SSD}</i>	= Berat dalam kondisi kering permukaan (gr)
<i>W_w</i>	= Berat dalam air (gr)
<i>Gmb</i>	= Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
<i>Gmm</i>	= Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
<i>P_b</i>	= Prosentase kadar aspal terhadap total campuran (%)
<i>P_{ba}</i>	= Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
<i>P_{be}</i>	= Kadar aspal efektif, persentotal campuran (%)
<i>P_f</i>	= Prosentase kadar <i>Filler</i> terhadap total campuran (%)
<i>P_s</i>	= Kadar agregat, persen total campuran (%)
<i>Puslitbang</i>	= Pusat Penelitian dan Pengembangan
<i>G_b</i>	= Berat jenis aspal (gr/cc)
<i>VIM</i>	= <i>Void In the Mix</i> / Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total
<i>VMA</i>	= <i>Void in the Mineral Aggregate</i> Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total

<i>VFA</i>	= <i>Void Filled with Asphalt</i> / Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>MS</i>	= <i>Marshall Stability</i>
<i>MF</i>	= Kelelahan <i>Marshall</i>
ISS	= Indeks Stabilitas Sisa
Msi	= Stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman 24 jam pada temperatur 60°C
Mss	= Stabilitas <i>Marshall</i> standar pada perendaman selama 30-40 menit pada temperatur 60°C
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Sampel A (standard)	= Sampel air standard yang dipakai untuk keperluan laboratorium di Laboratorium ATS.
Sampel X	= sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi Lingkungan Industri Kecil
Sampel Y	= Sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi di Jalan Ronggowarsito
Sampel Z	= Sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi di Jalan Mpu Tantular / Pelabuhan.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembinaan jalan yang hasilnya dapat memenuhi tuntutan masyarakat pengguna jalan bukanlah pekerjaan yang mudah, lebih – lebih pada saat kondisi anggaran terbatas serta beban kendaraan yang cenderung jauh melampaui batas dan kondisi cuaca yang kurang bersahabat. Disamping itu, makin meningkatnya kesadaran masyarakat untuk menyampaikan tuntutannya atas penyediaan prasarana jalan merupakan tantangan yang perlu mendapat perhatian dari pihak – pihak yang terkait dalam pembinaan jalan. Aspek – aspek tersebut merupakan kenyataan yang tidak bisa dihindari dan perlu dijadikan pendorong untuk mencari upaya – upaya yang dapat meningkatkan pembinaan jalan secara efektif dan efisien, baik pada pembangunan jalan baru maupun pada pelaksanaan pemeliharaan / peningkatan jalan yang ada.

Pada saat menggunakan jalan, tuntutan pengguna jalan adalah kenyamanan, keselamatan dan kecepatan yang akhirnya aspek – aspek tersebut ditunjukkan dengan biaya perjalanan yang murah. Untuk memenuhi tuntutan masyarakat pengguna jalan maka perkerasan harus memenuhi persyaratan kondisi fungsional dan struktural. Persyaratan kondisi fungsional menyangkut kerataan dan kekesatan permukaan perkerasan, sedangkan persyaratan kondisi struktural menyangkut kemampuan (dinyatakan dalam satuan waktu dan jumlah lalu lintas) dalam mempertahankan kondisi fungsionalnya pada tingkat yang layak. Kondisi struktural ditunjukkan oleh kekuatan atau daya dukung perkerasan yang biasanya dinyatakan dalam nilai struktural atau lendutan.

Beberapa ruas jalan di Indonesia yang terletak di daerah yang berhubungan dengan pantai (khususnya Kota Semarang) digenangi oleh air rob, yang kandungan keasamannya tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir rob yang melanda Kota Semarang genangannya makin lama semakin luas. Beberapa ruas jalan seperti Empu Tantular, Ronggowarsito, Lingkungan Industri Kecil (LIK) dan beberapa jalan disekitar daerah tersebut terkena genangan rob.

Banyak hal yang menyebabkan kerusakan konstruksi jalan, namun ada suatu anekdot yang menyatakan bahwa 3 (tiga) musuh utama jalan dengan perkerasan aspal adalah yang pertama air, kedua air dan ketiga juga air. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa

(genangan) air menyebabkan kerusakan atau mengurangi keawetan konstruksi jalan dengan perkerasan aspal.

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang pengaruh genangan/ rendaman air (khususnya yang bersifat asam) terhadap kualitas campuran beraspal panas. Desain campuran yang dipakai adalah desain untuk jenis campuran Lataston Lapis Aus atau dikenal dengan istilah *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Tahun 2001.

1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui / mendapatkan beberapa hal, antara lain :

- a. Mengetahui perilaku campuran beraspal panas yang terendam dalam air yang bersifat asam dan membandingkannya dengan campuran beraspal yang terendam dalam air standard dalam campuran beraspal (Campuran Beraspal yang dibuat sesuai Pedoman Perencanaan Beraspal Panas).
- b. Memberi gambaran sejauh mana pengaruh konsentrasi tingkat keasaman dan lama perendaman terhadap stabilitas dan keawetan campuran beraspal panas *HRS-WC*.

Tujuan dari penelitian ini :

Melihat korelasi antara kadar keasaman pada air rob terhadap sifat Marshall dan durabilitas dari *HRS-WC* pada beberapa variasi lama perendaman.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pembina jalan dan semua pihak yang terkait dengan pekerjaan campuran aspal panas, terutama tentang pengaruh air yang bersifat asam (dengan beberapa tingkat konsentrasi keasaman) terhadap nilai stabilitas dan keawetan dari *HRS-WC*, baik itu unsur perencana, pelaksana maupun pengawas. Khusus untuk perencana diharapkan sudah mengantisipasi pada desain perkerasan yang dibuat untuk jalan yang berpotensi besar terendam air (rob).

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada :

1. Perencanaan campuran menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan *HRS-WC* mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah edisi Agustus 2001.
2. Sumber campuran beton aspal yang dipakai pada penelitian terdiri dari :
 - a. Aspal keras penetrasi 60/70 produksi PERTAMINA
 - b. Agregat (kasar, halus dan abu batu) dari Kali Kuto Batang.
3. Uji analisis *Void* dinyatakan dalam uji *Void In the Mix/VIM*, *Void Filled With Asphalt / VFA*, *Void in Mineral Aggregate/VMA*.
4. Uji *Marshall test* terdiri dari uji stabilitas, kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient / MQ* dan Uji Indek kekuatan Sisa standard dinyatakan dalam uji perendaman *Marshall* selama 24 jam dengan suhu 60⁰ C.
5. Uji Durabilitas dengan durasi perendaman ½ jam, 72 jam, 120 jam, 168 jam dan dinyatakan dalam *Uji Marshall Immersion Test* terdiri dari uji durabilitas pertama Nilai indek absolut kehilangan kekuatan (r), dan uji durabilitas kedua Nilai indek absolut kuat tahan (S_a).
6. Sampel air untuk merendam benda uji diambil air dari laboratorium untuk standard, sedangkan air untuk pengujian perendaman diambil dari 3 (tiga) titik pengambilan pada waktu air pasang naik di lokasi Lingkungan Industri Kecil (LIK), Jl Rongngowarsito, di Jl. Mpu Tantular.
7. Uji kualitas air rob, sebagai bahan perendam campuran lapis permukaan *HRS-WC*, yang diuji hanya unsur kimia yang diindikasikan merusak campuran tersebut, seperti Kandungan Organoleptik, pH, Kadar Klorida (Cl⁻), Sulfat (SO₄⁼), Alkalinty sebagai phenol phtaline dan Alkalinty sebagai phenol hidroksi, serta Keasaman methyl jingga sebagai mg CaCO₃/lt dan Keasaman phenol phtaline sebagai mg CaCO₃/lt.
8. Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.

1.5. Sistematika Penulisan

Sesuai dengan petunjuk mengenai penyusunan tesis, maka penulisan tesis yang akan dilakukan terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisa dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

- a. Bab I : Pendahuluan
Merupakan awal dari penyusunan tesis, dalam bab ini dikemukakan arah judul tesis. Bab ini berisi permasalahan yang hendak dibahas, termasuk latar belakang, tujuan, kegunaan serta waktu penelitian.
- b. Bab II : Tinjauan Pustaka
Bab ini berisi mengenai teori – teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, serta syarat – syarat untuk melaksanakan penelitian. Dalam bab ini hasil tinjauan pustaka dikemukakan secara sistematis dan kronologis.
- c. Bab III : Metodologi Penelitian
Dalam bab ini dituliskan mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian mengenai pelaksanaan penelitian. Bab ini berisi uraian tentang data dan metode yang akan digunakan dalam penelitian maupun penyelidikan serta hipotesa yang diajukan dan ingin diuji.
- d. Bab IV : Analisa Data dan Pembahasan
Bab ini berisi mengenai hasil – hasil penelitian dan juga berisi tentang analisa dari hasil penelitian tersebut serta pembahasannya. Hasil ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, tabel dengan keterangan atau judul yang jelas. Hasil yang ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagian pembahasan ini. Bab ini merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan penelitian.
- e. Bab V : Kesimpulan dan Saran
Bab ini berisi kesimpulan – kesimpulan terutama setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan dinyatakan secara khusus dan menjawab semua permasalahan yang diteliti atau diamati. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil – hasil yang berasal dari bab pembahasan secara rinci. Kemudian dalam bab ini juga berisi mengenai saran atau rekomendasi yang didasarkan pada hasil penelitian dan penilaian menurut pendapat serta pemikiran peneliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam beberapa tahun terakhir ini, *Hot Rolled Sheet* telah digunakan secara luas di Indonesia sebagai lapisan permukaan, karena sifatnya yang kedap air dan tahan lama.

Sifat – sifat yang penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah agregatnya bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran sedang. Sebagai sebuah konsekuensi campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi dan sifat – sifat khasnya *Hot Rolled Sheet* ini sebagian besar dapat memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban berat tanpa retak.

Kemampuan perkerasan fleksibel untuk menahan kerusakan adalah sangat tergantung pada keawetan dari pada lapisan aspal tersebut. Air adalah salah satu dari banyak faktor yang mempengaruhi keawetan dari suatu campuran aspal; air dapat mengurangi ikatan antara aspal dan agregat dan berakibat hilangnya agregat dari permukaan. Kemampuan lapisan untuk menahan beban juga akan dipengaruhi.

Menurut Ishai, I (1977), keawetan campuran perkerasan aspal sebagian besar dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar aspal dan agregat menahan masuknya air.

2.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan kental ataupun padat yang secara esensial terdiri dari senyawa hidrokarbon dan turunannya, yang terlarut dalam *trichloroethylene*, tidak mudah berubah dan melunak secara perlahan ketika dipanaskan, memiliki warna hitam atau coklat, memiliki sifat kedap air dan sifat *visco-elastis* serta memiliki ciri yang beragam mulai dari yang bersifat lekat sampai yang bersifat elastis. Diantara sifat aspal lainnya adalah:

- a. Aspal mempunyai sifat *Rheologic* (mekanis), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- b. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi

- temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan kerana aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Namun pemanasan yang berlebihan terhadap aspal akan merusak molekul-molekul dari aspal, misalnya aspal menjadi getas dan rapuh.
- c. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan-regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

Diperoleh melalui proses destilasi dari minyak mentah dan bisa ditemukan dalam bentuk deposit alami atau dalam suatu komponen alami yang menyimpan aspal dan tercampur dengan mineral lainnya (*British Standard 3690, 1989*). Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa – senyawa kompleks seperti *Asphaltenese, Resins* dan *Oils* (*Hunter RN. 1994*).

Meskipun aspal hanya merupakan bagian kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian yang dominan untuk menyediakan ikatan yang durabel (awet/tahan lama) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, kohesi, adhesi dan durabilitas. *Krebs dan Walker, 1971* menerangkan dalam pemilihan jenis aspal sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah digunakan untuk daerah yang beriklim panas dalam rangka menghindari *softening* ataupun *bleeding*. Di sisi lain, aspal dengan indeks penetrasi yang tinggi dapat digunakan pada daerah beriklim dingin, dalam upaya mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*).

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran (*Crauss, J et al, 1981*). Jenis pengujian dan persyaratan untuk aspal seperti yang tercantum dalam Tabel. 2.1.

Tabel. 2.1. Pengujian dan persyaratan untuk aspal penetrasi 60/70

No.	Sifat-sifat	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
1.	Penetrasi (25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik)	60	79	0,1 mm
2.	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	48	58	⁰ C
3.	Titik nyala (<i>Cleveland open cup</i>)	200	0	⁰ C
4.	Kehilangan berat (163 ⁰ C, 5 jam)	-	0,8	% berat
5.	Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99	-	% berat
6.	Daktilitas (25 ⁰ C, 5 cm/menit)	100	-	Cm
7.	Pen setelah kehilangan berat	54	-	% asli
8.	Daktilitas setelah kehilangan berat	50	-	Cm
9.	Berat jenis (25 ⁰ C)	1	-	gr/cm ³

Sumber : SNI No. 1737-1989-F

2.3 Agregat

Agregat adalah suatu kombinasi dari pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan. Proporsi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia.

Jumlah agregat di dalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen dari berat, atau 75 sampai 85 persen dari volume. Di dalam *Hot Rolled Sheet*, agregat kasar digunakan untuk pengembang volume mortar sehingga campuran menjadi lebih ekonomis, juga untuk mendukung beban lalu lintas.

Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat yang terjadi secara alami adalah pasir, kerikil, dan batu. Kebanyakan agregat memerlukan beberapa proses seperti dipecah, dicuci sebelum agregat tersebut bisa digunakan dalam campuran aspal.

2.3.1. Agregat Kasar

Agregat kasar biasanya didefinisikan sebagai material yang pada prinsipnya tertahan pada saringan 2.36 mm, yang setara dengan saringan No. 8 menurut Standar *ASTM* atau saringan No. 7 menurut *Standar British*.

Fungsi Agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet* adalah untuk mengembangkan volume mortar dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

2.3.2. Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan 75 μm atau saringan No. 200.

Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gosokan dari partikel (HARTOM, 1985). Berkenaan dengan hal ini, agregat halus harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup dan mempunyai sudut, mempunyai bidang pecah permukaannya, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar, oleh karena itu agregat halus sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

2.3.3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*Filler*) adalah agregat yang lewat saringan No. 200 dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu.

Fungsi dari bahan pengisi (*filler*) adalah untuk meningkatkan viskositas aspal dan untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Manfaat kedua adalah bahwa sebagian besar bahan pengisi (*filler*) diserap oleh aspal.

Sebagian dari mineral debu ini terkandung pada fraksi agregat kasar dan agregat halus. Hasil penelitian pada umumnya menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah bahan pengisi (*filler*) cenderung akan meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran. Bagaimanapun peningkatan kandungan bahan pengisi (*filler*) harus dibatasi ; terlalu banyak kandungan bahan pengisi (*filler*) cenderung menghasilkan campuran yang getas dan mudah retak akibat beban lalu lintas. Dilain pihak, kandungan bahan pengisi (*filler*) yang terlalu rendah akan menghasilkan campuran yang terlalu lunak pada cuaca panas. Jumlah *filler* ideal sebesar antara 0,6 sampai 1,2 yaitu perbandingan antara prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*.

Jenis pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* tercantum dalam Tabel. 2.2.

Tabel. 2.2. Pengujian dan persyaratan untuk *agregat* dan *filler*.

No.	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Keausan / Los angeles abrasion test	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
5	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10%
Agregat halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5 \text{ gr/cc}$
3	Ekivalen pasir	AASHTO T-176	$\geq 50\%$
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-199	$\geq 1 \text{ gr/cc}$

2.4 Perencanaan Campuran *HRS-WC*

Asphalt Institute (1993) menyatakan bahwa secara keseluruhan tujuan perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menentukan suatu campuran dengan biaya yang murah dengan gradasi agregat-aspal yang menghasilkan suatu campuran yang mempunyai:

- a. Aspal yang cukup untuk menjamin suatu perkerasan yang tahan lama.
- b. Stabilitas campuran yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi distorsi atau pergerakan.
- c. Rongga yang cukup di dalam total campuran yang dipadatkan untuk memberikan ruang akibat penambahan pemadatan beban lalu lintas dan penambahan dari pengembangan aspal akibat meningkatnya temperatur tanpa terjadi *flushing*, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
- d. Kadar rongga udara yang maksimum untuk membatasi permeabilitas udara yang berbahaya dan masuknya air ke dalam campuran.
- e. Kemudahan mengerjakannya yang cukup sehingga memperoleh penghamparan campuran yang efisien tanpa terjadinya segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan tingkah lakunya.

Susunan dan kekerasan agregat yang cocok akan memberikan ketahanan terhadap slip yang cukup pada kondisi cuaca yang baik.

Sifat – sifat khas yang paling penting dari *Hot Rolled Sheet* adalah bahwa agregatnya bergradasi senjang. Sifatnya ini yang memberikan lapis aus *Hot Rolled Sheet* yang tahan cuaca dan memberikan permukaan yang awet yang dapat menerima beban berat tanpa retak.

Pada tahun 2001 Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend

perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap kelelahan. Salah satu jenis campuran yang dirangkum dalam spesifikasi baru tersebut adalah *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4

Tabel 2.3. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

SIFAT-SIFAT CAMPURAN			LATASIR	LATASTON		LASTON				
			KELAS A & B	WC	BASE	WC	BC	BASE		
PENYERAPAN KADAR ASPAL			MAX.	2,0	1,2 UNTUK LALU LINTAS > 1.000.000 ESA 1,7 UNTUK LALU LINTAS < 1.000.000 ESA					
JUMLAH TUMBUKAN PER BIDANG				50	75			112		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	-		4,9				
		MAX.		-		5,9				
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.		4,0		3,9				
		MAX.		6,0		4,9				
	LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA	MIN.		3,0			3,0			
		MAX.		6,0			5,0			
RONGGA DALAM AGGREGATE (VMA) (%)			MIN.	2,0	18	17	15	14	13	
RONGGA TERISI ASPAL (%)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	65		65	63	60		
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.		68						
	LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA	MIN.		75				73		
STABILITAS MARSHALL (Kg)			MIN.	200	800			800		
			MAX.	850	-			-		
KELELEHAN (mm)			MIN.	2	2			2		
			MAX.	3	-			-		
MARSHALL QUOTIENT (Kg/mm)			MIN	80	200			200		
STABILITAS MARSHALL SISA SETELAH PERENDAMAN SELAMA 24 JAM – 60° C			MIN	85 UNTUK LALU LINTAS > 1.000.000 ESA 80 UNTUK LALU LINTAS < 1.000.000 ESA						
PEMADATAN DENGAN KEPADATAN MUTLAK :										
JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL 2 x TIAP PERMUKAAN				TIDAK DIGUNAKAN UNTUK LALU LINTAS BERAT	400			600		
RONGGA DALAM CAMPURAN (%) PADA KEPADATAN MEMBAL (REFUSAL)	LALU LINTAS (LL) > 1 JUTA ESA	MIN.	-		2,5					
		MAX.	-		2,5					
	> 0,5 JUTA ESA & < 1 JUTA ESA	MIN.	2							
		MAX.	2							
LALU LINTAS (LL) < 0,5 JUTA ESA				1						

Catatan :

1. Modifikasi *Marshall*.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*Vibratory hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 inch.
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan *ESA* yang lebih tinggi.
4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (*Gmm Test, AASHTO T-209*).
5. Direksi Pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian *AASHTO T283* sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Standar minimum untuk diterimanya prosedur T283 harus 80% Kuat Tarik Sisa.

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001.

Tabel 2.4 : Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½ "	37,5							100
1 "	25						100	90 – 100
¾ "	19	100	100	100	100	100	90 – 100	Maks 90
½ "	12,5			90 – 100	90 – 100	90 – 100	Maks 90	
3/8 "	9,5	90 – 100		77 – 85	65 – 100	Maks 90		
No. 8	2,36		75 – 100	50 – 72 ¹	35 – 55 ¹	28 – 58	23 – 39	19 – 45
No. 16	1,18							
No. 30	0,600			35 – 60	15 – 35			
No. 200	0,075	10 – 15	8 – 13	6 – 12	2 – 9	4 – 10	4 – 8	3 – 7
Daerah Larangan								
No. 4	4,75					-	-	39,5
No. 8	2,36					39,1	34,6	26,8-30,8
No. 16	1,18					25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-30,8
No. 30	0,600					19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No. 50	0,300					15,5	13,7	11,4

Catatan :

1. Untuk *HRS-WC* dan *HRS-Base*, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No. 8 (2.36 mm) harus juga lolos No. 30 (0.600 mm). Lihat contoh batas – batas “bahan bergradasi senjang” yang lolos ayakan No. 8 (2.36 mm) dan tertahan ayakan No. 30 (0.600 mm) dalam Tabel 2.5.
2. Untuk *AC*, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas – batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas – batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2.36 mm) dan ayakan terkecil (90.75 mm).

Tabel 2.5: Contoh batas-batas “Bahan bergradasi senjang”

% lolos No. 8	40	50	60	70
% lolos No. 30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Agustus 2001

2.5 Pengujian Campuran Beraspal Panas

2.5.1. *Marshall Test*

Konsep *Marshall Test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insinyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Corps of Engineering* meningkatkan dan menambahkan beberapa kriteria pada prosedur tesnya, terutama kriteria rancangan campuran. Sejak itu tes ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan di banyak negara, dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun interpretasi terhadap hasilnya.

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul briket sample sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi briket sample sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dengan *Marshall Flow* disebut sebagai *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell, 1990*). Parameter lainnya yang penting dalam metoda *Marshall* adalah analisis *Void* yang terdiri dari *Density*, *Void In the Mix (VIM)*, *Void in Mineral Agregate (VMA)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)* yang dilaksanakan pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan

2.5.2. Pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap Campuran Aspal Panas.

Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (*CRAUS, J. et al, 1981*).

Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat – sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, seperti dijelaskan dibawah ini.

a. Metode Pengujian Perendaman Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian Perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60 °C.

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu 60 ± 1 °C dan 30 menit di dalam air pada suhu 25 ± 1 °C di bawah kondisi yang ditentukan.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60 °C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_s} \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

- Keterangan : *IRS* = Indeks Stabilitas Sisa (%)
MS_s = Stabilitas Marshall Standar (kg)
MS_i = Stabilitas Marshall Perendaman (kg)

Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas mensyaratkan *IRS* harus lebih besar dari 80 %. (lihat Tabel. 2.3).

b. Metode Pengujian Perendaman Modifikasi.

Kriteria Perendaman 24 Jam (satu hari) tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (*CRAUS, J. et al, 1981*). Peneliti – Peneliti ini memeriksa keawetan benda uji dari material aspal yang direndam di dalam air untuk waktu yang lebih lama dan dicari suatu parameter kuantitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada seluruh kurva keawetan. Kriteria - kriteria berikut dinilai memenuhi “indek keawetan” yaitu :

- 1). Harus rasional dan didefinisikan secara fisik.
- 2). Harus menggambarkan kekuatan menahan dan nilainya absolut.

- 3.) Harus menunjukkan potensi keawetan untuk suatu rentang yang fleksibel dari masa perendaman.
- 4.) Harus dengan tepat memberikan gambaran dari perbedaan perubahan waktu perendaman dari kurva keawetan.

Dua indek telah diperoleh yang paling memenuhi kriteria di atas.

a). Indeks Durabilitas pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan.

Berdasarkan Gambar 2.1, indeks (r) dinyatakan sebagai berikut :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- S_0 = nilai absolut dari kekuatan awal.
- S_i = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i
- S_{i+1} = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1}
- t_i, t_{i+1} = waktu perendaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 1, 3, 5 dan 7 hari perendaman, maka indeks kekuatan menjadi :

$$r = \frac{S_0 - S_1}{1} + \frac{S_1 - S_3}{2} + \frac{S_3 - S_5}{2} + \frac{S_5 - S_7}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

b). Indeks Durabilitas Kedua

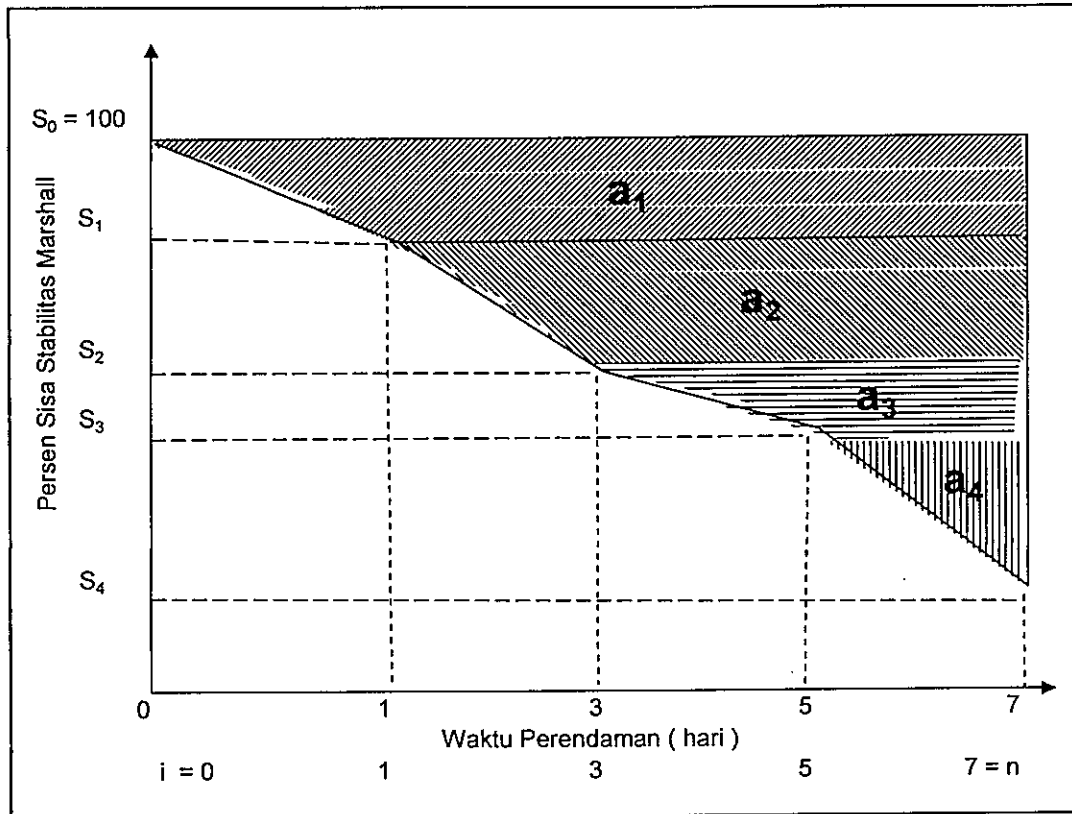
Indeks kekuatan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100$ persen. Berdasarkan Gambar 2.1, indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots (2.4)$$

Indeks keawetan kedua juga dinyatakan sebagai suatu kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya, $a < 100$. Karena itu,

memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a) \dots \dots \dots (2.5)$$



Sumber : CRAUS, J. dan kawan – kawan., (1981)

Gambar 2.1 Gambaran Skema Kurva Keawetan

c. Metode Pengujian Kualitas Air

Uji kualitas air rob, sebagai bahan perendam campuran lapis permukaan *HRS-WC*, yang diuji tingkat total keasaman beserta unsur-unsurnya yang diindikasikan merusak campuran tersebut, seperti:

1). Metoda Pengujian Warna dan Bau.

Pengukuran warna dan bau digunakan dengan cara fisik atau organoleptik (pancaindera).

2). Metoda Pengujian pH.

pH menunjukkan kadar asam atau basa dalam suatu larutan, melalui konsentrasi ion hidrogen H^+ . Ion hidrogen merupakan faktor utama untuk reaksi kimiawi dalam ilmu teknik penyehatan karena :

- a). H^+ selalu ada dalam keseimbangan dinamis dengan air (H_2O) yang membentuk suasana untuk semua reaksi kimiawi yang berkaitan dengan masalah pencemaran air, dimana sumber ion hidrogen tidak pernah habis.
- b). H^+ tidak hanya merupakan unsur molekul H_2O saja tetapi juga merupakan unsur banyak senyawa lain, sehingga jumlah reaksi tanpa H^+ dapat dikatakan hanya sedikit saja.

Suasana dikatakan asam, jika memiliki $pH < 7$, suasana dikatakan basa, jika memiliki $pH > 7$, dan suasana dikatakan netral, jika memiliki $pH = 7$.

Dalam air suling konsentrasi $[H^+] = [OH^-]$ atau $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$, atau mengandung nilai pH sekitar 6,5, yaitu sedikit asam karena ada sedikit CO_2 terlarut yang berasal dari udara.

$pH = -\log [H^+]$ harga pH ini sangat tergantung dari senyawa anorganik yang terlarut dalam air tersebut.

Pengukuran pH untuk air standard laboratorium, air rob LIK, air rob Jl. Ronggowarsito air rob Jl. Mpu Tantular digunakan prinsip Potensiometri.

Prinsip potensiometri adalah sebagai berikut : pH meter terdiri dari 2 (dua) bagian yaitu potensio atau mV-meter dan elektroda, biasanya elektroda adalah elektroda ganda yang terdiri dari :

- a). Elektroda kaca, didalamnya berupa larutan HCl atau *buffer* tertentu dan elektroda besi intern. Ion H^+ dari larutan sampel menempel pada dinding kaca elektroda hingga tegangan (potensial) muncul diantara sisi dinding kaca yang khusus tersebut.
- b) Elektroda referensi, terdiri dari *half-cell* Hg/Hg_2Cl_2 (*kalomel*) yang berhubungan dengan larutan sampel melalui elektrolit (jembatan garam) KCl dan membran.

Membrannya terbuat dari *kwarts* atau keramik yang porus. Karena pentingnya hubungan antara kalomel (terendam elektrolit) didalam elektroda dengan larutan sampel, maka membran harus bersih dan basah, juga cegah gelembung udara di dalam elektrolit. Larutan KCl di dalam elektroda harus jenuh artinya, hablur KCl masih boleh berada dalam larutannya. Elektroda referensi ini disebut elektroda kalomel dan dengan elektroda kaca merupakan satu sel elektro-kimia yang menyebabkan perbedaan potensial listrik antara kedua

elektroda tersebut. Elektroda kalomel adalah referensi karena tegangan *half-sell*-nya tetap sama.

Tegangan yang diukur pH meter tergantung dari keadaan larutan sampel disekitar elektroda kaca, dan diukur sebagai mV. Nilai mV perlu distandardkan terhadap nilai pH yang sebenarnya dalam larutan sampel. Larutan *buffer* dengan kadar pH yang sudah diketahui dapat digunakan untuk mendapatkan nilai mV standard tersebut.

3) Metode Pengujian kadar Klorida (Cl^-)

Senyawa Klorida yang terlarut dalam air tidak beraksi sendiri melainkan merupakan suatu senyawa garam seperti (NaCl , CaCl_2 , BaCl_2 , MgCl_2) dan sifat garam ini mudah sekali mengalami ionisasi dalam air, yang dapat meyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan yang menggunakan bahan agregat-aspal panas, karena merusak sifat kohesi bahan aspal.

4) Metoda Pengujian kadar Sulfat ($\text{SO}_4^{=}$)

Senyawa Sulfat yang terlarut dalam air tidak beraksi sendiri melainkan merupakan suatu senyawa garam seperti (NaSO_4 , CaSO_4 , BaSO_4 , MgSO_4) dan sifat garam ini mudah sekali mengalami ionisasi dalam air, yang dapat meyebabkan kerusakan pada konstruksi Jalan yang menggunakan bahan agregat-aspal panas, karena merusak sifat adhesi antara agregat-aspal.

5). Metoda Pengujian Alkalinity

Alkalinity adalah kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai pH larutan, juga merupakan hasil reaksi terpisah dalam larutan hingga merupakan sebuah analisa makro yang menggabungkan beberapa reaksi. Alkalinity dinyatakan dalam meq/lt atau mg CaCO_3 /lt, Alkalinity dalam air disebabkan oleh ion-ion karbonat ($\text{Ca}_3^{=}$), bikarbonat (HCO_3^-), Hidroksida (OH^-) dan juga Borat ($\text{BO}_3^{=}$), Phosphat ($\text{PO}_4^{=}$), Silikat ($\text{SiO}_4^{=}$). Dalam air rob khususnya di dekat daerah industri kadar alkalinity yang tinggi menunjukkan adanya senyawa garam dari asam lemah seperti asam asetat, propionat, amoniak dan sulfat ($\text{SO}_3^{=}$).

Untuk konstruksi jalan dengan bahan agregat-aspal tidak diperbolehkan mengandung kadar alkalinity yang tinggi, karena akan mengakibatkan lapuknya bahan agregat.

6). Metoda Pengujian kadar Keasaman dalam air.

Pengukuran kadar keasaman adalah pengukuran kapasitas air untuk menetralkan basa kuat sampai suatu nilai pH tertentu, yang dapat dinyatakan dalam meq/lit atau mg/lit CaCO₃ atau mg/lit H⁺ atau mg/lit CO₂.

2.6. Penelitian yang Pernah Dilakukan.

Banyak penelitian yang pernah dilakukan yang dapat dijadikan acuan atau literature untuk penyusunan tesis / penelitian ini, diantaranya adalah :

- 1). Wan Ramli (2000) menyatakan bahwa faktor regional temperatur dan air dari curah hujan yang tinggi merupakan salah satu penyebab percepatan kerusakan campuran beton aspal. Untuk mengetahui kualitas dan karakteristik campuran telah dilakukan uji perendaman. Dalam penelitian ini digunakan campuran panas beton aspal grading V (standar Bina Marga 1987) dengan *Dust Proportion* tinggi dan kadar *Filler* rendah. Uji perendaman selama 0,5 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam untuk mengetahui Indeks Kekuatan Sisa dan tingkat keawetan campuran beton aspal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama perendaman akan menurunkan nilai stabilitas dan menaikkan nilai *flow*. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga (1998) *dust proportion* 1,5 ; 1,7 ; 1,9 ; 2,1 dengan lama perendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 jam dan variasi kadar *filler* 5 %, 6 %, 7 % dan 8 %, benda uji belum dapat memenuhi spesifikasi akibat adanya nilai *void in mineral aggregate (VMA)* lebih besar dari 16 % dan nilai *void in the mix (VITM)* lebih besar dari 3–5 %.

- 2). Syukur Sebayang (2000) telah melakukan penelitian Pengaruh Pasir Pantai terhadap Mutu Campuran Aspal Beton. Penelitian membandingkan penggunaan material pasir dari pantai Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Selatan dan material pasir dari Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah. Jenis campuran yang dipakai dalam penelitian adalah *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah :
 - a. Rongga udara (VITM) semakin kecil jika kadar garam pada pasir pantai tersebut berkurang. Ini dikarenakan sifat dari garam itu sendiri yang menyerap air.
 - b. Derajat kejenuhan (VFWA) semakin meningkat jika kadar garam pada pasir pantai itu berkurang.

- c. Pasir pantai tanpa penyiraman (kadar garam 2,68 %) hanya dapat digunakan pada perkerasan jalan raya untuk lapis laston
- 3). Sukmana Fauzi (2001) telah melakukan penelitian pengaruh perendaman terhadap sifat marshall dan durabilitas campuran beton aspal yang menggunakan aspal AC 60/ 70 merk Pertamina dan merk *Esso* pada kadar aspal optimum. Variasi lama perendaman pada suhu 60 °C adalah 0,5 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam, 24 jam, 30 jam, 30 jam, 36 jam dan 48 jam untuk masing-masing campuran beton aspal dengan bahan pengikat aspal 60/ 70 merk Pertamina dan merk *Esso*. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan kemampuan daya aspal dalam campuran terhadap sifat Marshall pada parameter density, stabilitas *flow*, *VMA*, *VITM*, *VFMA*, *Marshall Quotient* setelah dilakukan pada lama perendaman. Hasil penelitian adalah aspal AC 60/ 70 merk *Esso* lebih baik dari aspal AC 60/ 70 merk Pertamina.
- 4). Siswosubroto, et al, (2002) meneliti pengaruh penggunaan pasir dan bahan pengisi dari laut terhadap durabilitas *HRS*. Dalam penelitian ini material dari laut dibandingkan dengan material yang berasal dari sungai dan pecahan batu. Kadar Aspal Optimum (KAO) 7,7 % untuk campuran yang mengandung material dari laut; 8,2 % untuk campuran yang mengandung pecahan batu serta 8,4 % untuk campuran yang mengandung material dari sungai.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *Marshall Immersion* untuk mengetahui indikasi akan kerentanan (*susceptibility*) campuran terhadap pengaruh temperatur dan air. Kehilangan stabilitas yang terjadi akibat perendaman merupakan usuran ketahanan terhadap air. Perbandingan antara stabilitas terendam dengan stabilitas standar dinyatakan dalam prosentase yang disebut Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Stability = IRS*). Untuk campuran yang mengandung material dari laut, nilai IRS adalah 88,35 % dan untuk campuran yang mengandung material pecahan batu adalah 89,79 %, sedangkan untuk campuran yang mengandung material dari sungai nilai IRS-nya sebesar 72,33 %. Jadi material dari laut yang digunakan dalam campuran memenuhi persyaratan yang ditetapkan SNI dan berarti material dari laut tahan terhadap pengaruh air dan temperatur.

Hasil pengujian durabilitas jangka panjang memperlihatkan bahwa nilai kekuatan sisa campuran yang mengandung material dari laut yaitu 90,22 % mendekati nilai campuran yang mengandung pecahan batu yaitu 93,47 %.

5). Cakra Nagara, et al, (2003) melakukan penelitian guna mengevaluasi pengaruh penguapan-pengembunan berulang sebagai simulasi dari variasi panas dan dingin yang diterima perkerasan jalan setiap hari. Penelitian dilakukan dengan percobaan laboratorium dengan alat Marshall untuk jenis perkerasan Beton Aspal yang mengandung Gradasi V Juklak Laston 1987 Bina Marga. Aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70 untuk metode *Hot Mix* jenis *Asphaltic Concrete (HMA-AC)* dan aspal emulsi jenis *CSS-1* untuk metode *cold mix* yang dikenal dengan *Dense Graded Emulsion Asphalt (DGEM)*. Berdasarkan nilai kadar aspal optimum dari masing-masing metode dilakukan pengujian penguapan-pengembunan berulang. Sebagai pembandingan dilakukan pengujian lainnya yaitu : perendaman dalam air secara siklik pada suhu ruang dan pengkondisian di udara bebas. Siklus waktu pengujian adalah 10, 20, 40 dan 80 hari. Hasil penelitian menyebutkan bahwa perendaman dalam air secara siklik sampai hari ke-40 untuk perkerasan *HMA* lebih awet dari pada perkerasan *DGEM*, namun setelah hari ke-80 keadaan terbalik. Secara keseluruhan perkerasan *DGEM* lebih tahan terhadap infiltrasi uap air pada proses penguapan-pengembunan berulang dibandingkan *HMA*. Kehilangan air dan proses pemanasan untuk perkerasan *DGEM* dapat meningkatkan nilai stabilitas.

6). Y. Martono Hadi (2003) melakukan penelitian pengaruh permeabilitas pada suhu air yang berbeda terhadap durabilitas, dengan mengkaji ukuran potensi durabilitas campuran beraspal terhadap rembesan air yang terjadi akibat rongga yang mengakibatkan menurunnya kinerja (durabilitas) campuran beraspal pada kadar aspal yang berbeda.

Kriteria potensi durabilitas pada penelitian ini dibagi atas : Perendaman standar *Marshall* (30 menit, 60 °C) dan perendaman modifikasi *Marshall* (perendaman 3, 7, 14, 21, dan 28 hari pada suhu ruang dan perendaman pada suhu 60 °C dengan variasi 12 jam direndam - 12 jam diangin-angin) tinjauan dilakukan pada kadar aspal 4,5 %; 5,0 %; 5,5 %; 6,0 % dan 6,5 % terhadap berat total agregat. Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui rongga yang berkesinambungan sebagai indikator nilai rembesan.

Pengujian menunjukkan hasil : Benda uji yang direndam dengan suhu ruang memperlihatkan tiap kadar aspal / rongga yang berbeda mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu penurunan nilai stabilitas yang terjadi akibat lamanya perendaman,

dimana pada hari ke tujuh baru terjadi penurunan nilai stabilitas. Sedangkan benda uji yang direndam pada suhu 60 °C, terlihat semakin besar nilai rembesan akan semakin cepat penurunan nilai stabilitas, hal ini mengindikasikan pada suhu air yang berubah-ubah cenderung mempercepat kerusakan khususnya pada rongga yang besar. Pengujian perendaman Marshall yang dimodifikasi menunjukkan Indeks Durabilitas sebagai indikator pengaruh rembesan terhadap lama waktu perendaman, dan pengujian ini dapat memperhitungkan potensi durabilitas tiap rembesan per periode rendaman.

Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu digunakan campuran beton tipe Lataston (*HRS-Wearing Course* dengan agregat untuk campuran aspal sesuai spesifikasi baru beton aspal campuran panas edisi Agustus 2001.

Uji durabilitas digunakan perendaman dengan air laut pasang (rob) selama 168 jam, sehingga diperlukan juga uji pengaruh tingkat keasaman air rob tersebut beserta unsur-unsurnya terhadap sifat-sifat *Marshall* dan nilai keawetan non standard.

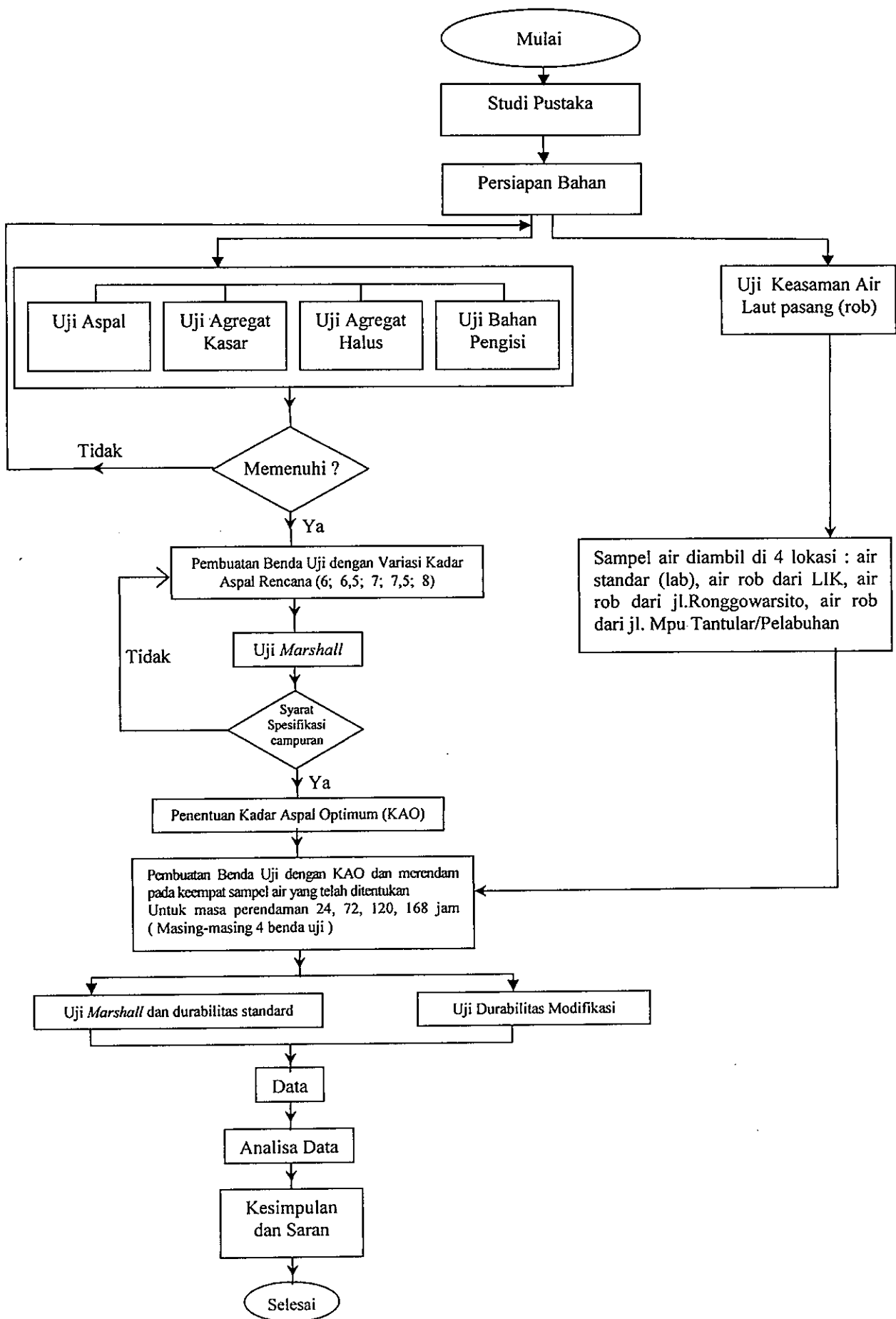
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Agar tujuan dan sasaran penelitian dapat dicapai sesuai yang diharapkan perlu ditentukan alur / program kerja penelitian yang akan dilaksanakan. Alur / program kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1, secara garis besar, metode pengkajian yang akan dilaksanakan berupa pengambilan bahan – bahan dilapangan kemudian dilanjutkan pengujian / pengukuran dan pengamatan di laboratorium baik terhadap bahan individu (aspal, agregat, *filler*) dan briket campuran aspal panas. Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang diperoleh dari pengujian dilaboratorium dengan nilai yang ada dalam persyaratan kemudian menganalisa pengaruh air laut pasang (rob) terhadap kinerja Lataston (*HRS-WC*) berdasarkan uji *Marshall* dan uji durabilitas..

Bahan – bahan yang digunakan untuk campuran *HRS-WC* harus sesuai dengan spesifikasi dan beragam pengujian dilakukan untuk menjamin bahan yang digunakan memiliki sifat – sifat yang diinginkan. Agregat yang digunakan berasal dari satu sumber agar diperoleh sifat – sifat teknis yang sama. Sebagai sebuah komponen penting dari campuran, aspal yang digunakan harus sesuai dengan kondisi lingkungan dan memenuhi spesifikasi.

Dalam penelitian ini, pengujian bahan – bahan dilakukan dengan menggunakan prosedur SNI. Jika prosedur pengujian tidak terdapat pada SNI, digunakan prosedur – prosedur lain seperti *AASHTO*, dan *ASTM*.



Gambar 3.1 : Bagan Alir Metode Penelitian

3.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Agregat kasar, berasal dari Kalikuto, Batang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Semarang.
- b. Begitu pula untuk agregat pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Semarang.
- c. Agregat halus (pasir kali), berasal dari Kalikuto, Batang dan diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Semarang.
- d. Untuk bahan aspal menggunakan aspal aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.
- e. Bahan air untuk sarana perendaman briket campuran beraspal panas dipakai air laut pasang (rob) dari Lingkungan Industri Kecil (LIK), dari Jl. Ronggowarsito, dan dari Pelabuhan/Jl. Mpu Tantular. Sedang sebagai pembanding adalah air laboratorium ATS.
- f. Bahan-bahan kimia untuk keperluan pengukuran kualitas air rob diambil dari laboratorium Growth Center Kopertis Wilayah VI.

3.3 Peralatan Penelitian

- a. Alat uji pemeriksaan aspal
Digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan.
- b. Alat uji pemeriksaan agregat
Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar, alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), alat uji indeks kepipihan, bak perendam, tabung *sand equivalent*, alat saringan uji soundness.
- c. Alat uji pemeriksaan kualitas air laut pasang (rob)
Peralatan yang digunakan antara lain alat pH meter merk *Hanna*, timbangan, labu *erlenmeyer* 250 ml, buiret/alat titrasi 25 ml, gelas ukur, pipet, kertas saring bebas lemak.
- d. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal
Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan palstis (*flowmeter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 in) dengan tinggi 7,5 cm (3 in) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 in) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3.86 inch), berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 in) untuk *Marshall* standar.
- 4) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- 5) Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- 6) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

3.4 Pengujian Kualitas Air Laut Pasang (Rob)

Pengujian ini dimaksudkan untuk memberikan informasi kualitas dari air laut pasang (rob), khususnya di kota Semarang diwakili pada titik Air pasang di Lingkungan Industri Kecil (LIK), di Jl. Ronggowarsito, di Pelabuhan/Jl. Mpu Tantular. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan data Tingkat total keasaman, beserta unsur-unsur yang mempengaruhi seperti Warna, bau, pH, Kadar Klorida (Cl^-), Kadar (SO_4^{2-}), Total Alkalinity
 Cara menghitung total keasaman beserta unsur yang mempengaruhi adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran Warna Dan Bau

Pengukuran warna dan bau digunakan dengan cara organoleptik (pancaindera).

2. Pengukuran pH

Pengukuran pH menggunakan cara Potensiometri, memakai alat pH meter merk *Hanna*, penggunaannya sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat pH meter,
- b. Membersihkan elektroda dengan menggunakan air suling atau *aqudest*,
- c. Mengkalibrasi larutan *buffer adjust* pH sesuai dengan pH *buffer* tersebut,
- d. Mencuci elektroda dengan dengan air suling,

Kemudian dilakukan pengukuran pH pada sampel catat pH yang dihasilkan.

3. Pengukuran Kadar Klorida (Cl⁻)

Pengukuran Kadar Klorida (Cl⁻) menggunakan cara analisa kualitatif dan cara analisa kuantitatif, seperti halnya sebagai berikut :

a. Analisa Kualitatif :

- 1). Beberapa ml contoh dimasukkan dalam test tube,
- 2). Ditambahkan beberapa tetes HNO₃ encer dan AgNO₃,
- 3). Bila terjadi endapan putih maka ditambahkan Amonia (NH₄OH),
- 4). Jika endapan larut berarti contoh mengandung Chlorida.

b. Analisa Kuantitatif :

- 1). Diambil contoh sampel 'a' ml dan dimasukkan dalam *erlen meyer* 250 ml,
- 2). pH dicek, jika asam (pH < 7) ditambahkan NaOH, jika basa (pH > 7) ditambahkan HNO₃ encer. pH sampel harus netral (pH = 7),
- 3). Kemudian dalam *erlen meyer* ditambahkan indicator K₂CrO₄ 10 tetes (K₂CrO₄ 10%),
- 4). Dimasukkan AgNO₃ yang sudah diketahui Normalitetnya kedalam *buiret*,
- 5). Kemudian dilakukan titrasi,
- 6). Tetrasi dihentikan jika sudah terbentuk endapan merah bata Ag₂CrO₄ catat kebutuhan volumenya (b ml).

$$\text{Kadar Klorida} = \frac{1000}{a} \times b \times N_{\text{AgNO}_3} \times 35,5 \text{ mg / lt} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Penentuan Kadar Klorida (Cl⁻)

a. Pembuatan AgNO₃ 0,1 N. 250 ml

Rumus yang digunakan :

$$N = \frac{\text{Berat AgNO}_3}{\text{Berat Molekul AgNO}_3} \times \text{Valensix} \times \frac{1000 \text{ ml}}{\text{volume diinginkan}} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan :

- N = normalitet
- BA. Ag = 108
- N = 14
- O = 16

$$0,1 = \frac{a}{\{(108 + 14 + (16 \times 3)\}} \times 1 \times \frac{1000}{250}$$

$$a = \frac{17}{4} = 4,25 \text{ gr (berat AgNO}_3\text{)}$$

Jadi untuk membuat 0,1 N AgNO₃ 250 ml adalah dengan melarutkan 4,25 gr dalam labu takar 250 ml ditambah air sampai batas ukur.

b. Pembuatan indikator K₂CrO₄ 10 %

Ditimbang 10 gr K₂CrO₄ dan dilarutkan dalam 90 gr air suling.

4. Pengukuran Kadar Sulfat (SO₄⁼)

Pengukuran Kadar Sulfat (SO₄⁼) dilakukan dengan cara :

- a. Mengambil sampel air (a) ml, kemudian dimasukkan kedalam Erlenmeyer 250 ml.
- b. Ditambahkan 1 ml HCl pekat dan dididihkan.
- c. Kemudian ditambahkan 100 ml BaCl₂ 1%, pemanasan diteruskan selama ½ jam
- d. Didinginkan dan lakukan penyaringan dengan kertas saring bebas lemak (timbang dahulu kertas saringnya).
- e. Endapan dan kertas saring dicuci dengan hcl sampai air yang menetes tidak mengandung Ba⁼ lagi.
- f. Ditimbang *crush porceline* (b) gr, kemudian endapan dan kertas saring dimasukkan kedalamnya.
- g. Kemudian dipijarkan dalam *crush porceline* setelah membara pemanasan dihentikan.
- h. Setelah didinginkan kemudian ditimbang beratnya (c) gr, maka berat zat yang terbakar $c - b = e$ gr.

$$\text{Kadar sulfat (SO}_4^{\text{=}}\text{)} = \frac{1000}{a} \times d \times 0,4115 \text{ mg/lt} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Penentuan Kadar Sulfat (SO₄⁼)

Berat *crush porceline* = 35,21 gr (b)

Sampel air = 100 ml (a)

5. Pengukuran Kadar Alkalinity

Dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Pipet 100 ml sampel masukan kedalam Erlenmeyer 250 ml tambahkan 3 tets indikator *Phenol Pthaline*
- b. Dimasukan 0,02 N HCl kedalam buiret sampai pada skala 0 ml

- c. Langkah (a) dititrasi dengan 0,02 N HCl sampai tidak berwarna catat kebutuhan volumenya (a) ml.
- d. Langkah (c) diberi 2 – 3 tetes indikator *Sindur Methyl (Methyl Orange)*
- e. Langkah (d) dititrasi dengan HCl 0,02N sampai terbentuk warna sindur, catat kebutuhan volumenya (b) ml.

Phenol Pthaline alkalinity dihitung sebagai CaCO_3

$$= \frac{1000}{100} \times a \times N_{\text{HCl}} \times 50 \text{ mg/lt} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Hydroksi Alkalinity dihitung sebagai CaCO_3

$$= \frac{1000}{100} \times b \times N_{\text{HCl}} \times 50 \text{ mg/lt} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Total Alkalinity = *Phenol Pthaline alkalinity* + *Hydroksi Alkalinity*

Penentuan Alkalinity

Pembuatan 0,02 N HCl 250 ml

$$0,02 = \frac{\text{BeratHCl}}{\text{BMHCl}} \times \text{valensi} \times \frac{1000}{250}$$

BM HCl : Berat Atom H + Berat Atom Cl

$$1 \quad + \quad 35,5 \quad = 36,5$$

$$\text{Berat HCl} = \frac{0,02 \times 36,5}{4} = 0,1825 \text{ gr}$$

Cara membuat 0,02N HCl 250 ml

- a. ditimbang HCl seberat 0,1825 gr,
- b. dimasukkan kedalam labu takar 250 ml,

ditambahkan air sampai batas pengukuran.

6. Pengukuran kadar keasaman

Dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Diukur 100 ml sampel dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 ml,
- b. Dimasukan elektroda pH meter kedalam sampel, baca dan catat pH dari sampel,
- c. apabila pH sampel < 3,7, titrasi sampel dengan larutan baku NaOH 0,01 N sampai pH 3,7 dan catat pemakaian NaOH (A') yang diperlukan untuk perhitungan keasaman metil jingga,

- d. apabila pH sampel > 3,7 titrasi sampel dengan larutan baku NaOH 0,01 N sampai pH 8,3 dan catat pemakaian larutan NaOH (A''),
- e. Dijumlahkan pemakaian BaOH (A) yang diperlukan untuk perhitungan keasaman total berdasarkan hasil (c) dan (d).

Keasaman *methyl* jingga sebagai mg CaCO₃/lt

$$= \frac{A' \times B \times 100 \times 50}{C} \text{ mg/lt} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keasaman *fenol pthaline* sebagai mg CaCO₃/lt

$$= \frac{A'' \times B \times 100 \times 50}{C} \text{ mg/lt} \dots\dots\dots (3.7)$$

Total keasaman (A) = Keasaman *methyl* jingga + Keasaman *fenol pthaline*

Keterangan :

- A = banyaknya ml titrasi total larutan NaOH yang digunakan (A' + A'')
- A' = banyaknya ml titrasi larutan NaOH yang digunakan sampai pH = 3,7
- A'' = banyaknya ml titrasi larutan NaOH yang digunakan sampai pH = 8,3
- B = normalitet NaOH yang digunakan
- C = Volume sampel dalam ml.

Penentuan Keasaman

Pembuatan 0,01 NaOH 250 ml

$$\text{Berat NaOH} = \frac{0,01 \times 250 \times 40}{1000} = 0,10 \text{ gr}$$

Cara membuat 0,02N NaOH 250 ml

- a. ditimbang NaOH PA (pro analisis) seberat 0,10 gr,
- b. dimasukkan kedalam labu takar 250 ml,
- c. ditambahkan air sampai batas ukur.

3.5 Pengujian dan Persyaratan Bahan

3.5.1 Aspal

Material ini walaupun jumlah prosentasenya yang kecil, namun menentukan dalam menyatukan keseluruhan komponen campuran, sekaligus bernilai mahal untuk suatu skala proyek. Karena itu, disyaratkan memenuhi spesifikasi yang digariskan agar diperoleh campuran bermutu dan awet. Adapun aspal yang akan digunakan di sini adalah aspal

dengan penetrasi 60/70 dan pengujian yang dilakukan terhadap aspal tersebut adalah seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

3.5.2 Agregat dan Filler

Agregat adalah komponen terbesar dalam campuran beraspal, yaitu dalam kisaran 90% hingga 95% berat keseluruhan atau 75% hingga 85 % volume keseluruhan, dan memberikan kontribusi biaya berkisar 30 % biaya keseluruhan pembangunan jalan. Hingga praktis karakteristik campuran sangat ditentukan oleh sifat keseluruhan agregat atau gradasinya. Karena itu agregat perlu diuji dan diharuskan memenuhi spesifikasi agar diperoleh campuran bermutu.

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan di dalam penelitian ini adalah abu batu. sekurang - kurangnya 85 % dari material ini disyaratkan lolos saringan No. 200. Kepadatan lepas \geq dari 1 gr /cc. Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

3.6 Metoda Campuran *HRS - WC*

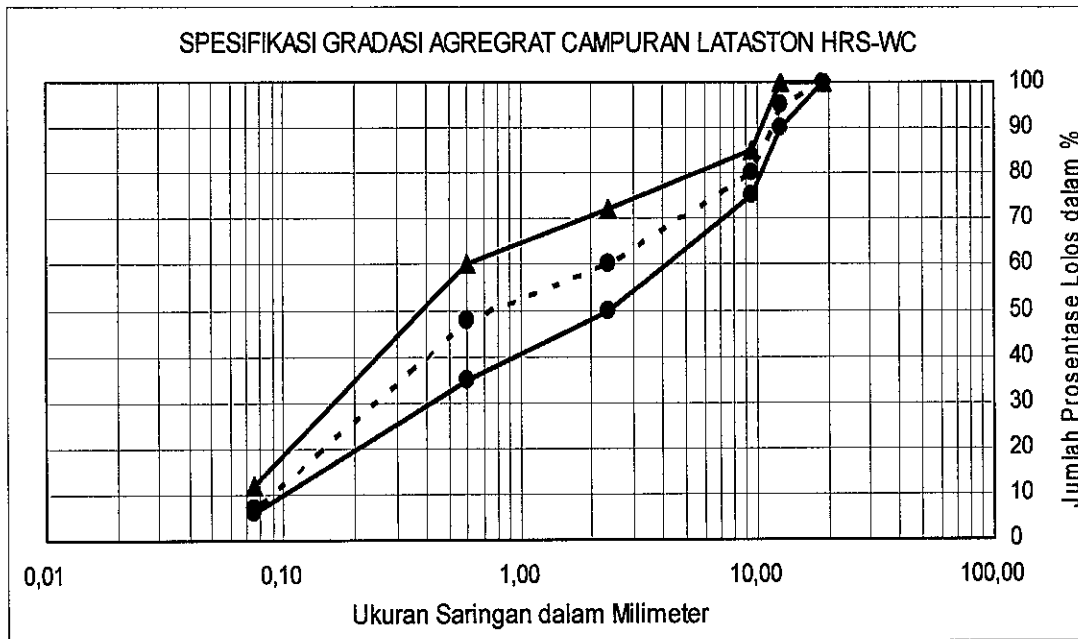
Metoda campuran meliputi pemilihan gradasi agregat, tingkatan aspal dan penentuan kadar aspal optimum. Tujuannya adalah untuk menghasilkan suatu perencanaan yang ekonomis dan memenuhi kriteria teknik.

Lapisan aus *HRS-WC* harus direncanakan untuk mempunyai stabilitas dan keawetan yang cukup baik untuk mengantisipasi beban lalu lintas maupun untuk mencegah pengaruh masuknya udara, air dan perubahan suhu. Ketentuan sifat-sifat campuran gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi baru beton aspal campuran panas dapat dilihat pada Tabel 2.3. 2.4. dan 2.5.

Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan prosentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Setiap benda uji umumnya memerlukan berat agregat 1200 gram. Syarat untuk *HRS-WC*, yaitu paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan no.30 (0,600 mm). Target gradasi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1. Target Gradasi dengan ukuran Maksimum 19 mm

Ukuran Ayakan		Prosentase Lolos	Hasil Perhitungan		Berat
ASTM	Mm		Target Gradasi	Tertahan	
¾"	19	100	100	0	-
½"	12,5	90 – 100	95	5	60
3/8"	9,5	75 – 85	80	15	180
# 8	2,36	50 – 72	60	20	240
# 30	0,600	35 – 60	48	12	144
# 200	0,075	6 – 12	7	41	492
		Pan		7	84
Berat total agregat (gram)					1200



Gambar 3.2 Target gradasi

3.6.1 Prosedur Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal optimum diperkirakan dengan penentuan kadar aspal optimum secara empiris dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

P_b = perkiraan kadar aspal terhadap campuran, persentase berat terhadap campuran

CA = *Aggregate* kasar tertahan saringan nomor 8

FA = *Aggregate* halus lolos saringan nomor 8

FF = Bahan pengisi lolos saringan nomor 200

Nilai K = Konstanta 2,0 sampai dengan 3,0 untuk lataston

Nilai P_b hasil perhitungan dibulatkan mendekati 0,5 %. Ditentukan 2 (dua) kadar aspal diatas dan 2 (dua) kadar aspal dibawah kadar aspal perkiraan awal yang sudah dibulatkan mendekati 0,5 % ini.

Kemudian siapkan benda uji untuk *Marshall test* sesuai tahapan berikut ini :

a. Tahap I :

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum P_b dibuat benda uji dengan jenis aspal pertamina dengan dua variasi kadar aspal diatas P_b dan dua variasi kadar aspal dibawah P_b (-1,0 %; - 0,5 %; P_b ; +0,50 %, + 1,0%), masing-masing 4 (empat) benda uji terdiri dari 2 (dua) kering dan 2 (dua) rendaman. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* standar 2 x 75 tumbukan dan pengujian durabilitas untuk menentukan VIM , VMA , VFA , kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall* dan Indeks stabilitas sisa. Dari grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* , tentukan kadar aspal optimum.

b. Tahap II :

Buat benda uji pada kadar aspal optimum, variasikan kadar aspal optimum pada durasi perendaman (1, 3, 5, 7) hari pada masing-masing pengambilan air (air laboratorium, air rob LIK, air rob jl.Ronggowarsito, air rob jl. Mpu Tantular) kemudian lakukan uji *Marshall* kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan kondisi refusal density (2 x 400) tumbukan untuk menentukan VIM , VMA , VFA , kepadatan, stabilitas, kelelahan dan MQ , serta pengujian perendaman / durabilitas standard dan pengujian perendaman / durabilitas modifikasi untuk menentukan nilai indeks durabilitas pertama (r , R) dan nilai indeks durabilitas kedua (S_a , S_A). Perincian pengujian dapat dilihat pada jumlah sampel penelitian seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jumlah Sampel Penelitian

Tahap I : Uji *Marshall* standar Kadar Aspal Optimum

Jenis Aspal	Kadar Aspal (%)					Jumlah
	-1,0%	-0,5%	Pb	+0,5%	1%	
Aspal Pertamina	2D	2D	2D	2D	2D	10
Penetrasi 60/70	2S	2S	2S	2S	2S	10
Sub total						20

Tahap II: Uji *Marshall* standar dan Uji Durabilitas non standar (2x75) pada KAO

Lokasi Pengambilan	Durasi Perendaman (jam)				Jumlah
	24	72	120	168	
Air dari laboratorium	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari LIK	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari jl. Ronggpwarsito	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari Jl. Mpu Tantular	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Tahap II: Uji *Marshall* kepadatan mutlak dan Uji Durabilitas non standar (2x400) pada KAO

Lokasi Pengambilan	Durasi Perendaman (jam)				Jumlah
	24	72	120	168	
Air dari laboratorium	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari LIK	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari jl. Ronggpwarsito	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Air rob dari Jl. Mpu Tantular	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Sub total					64

Keterangan :

- S = Sampel diasumsikan dalam kondisi (soaked) rendaman
- D = Sampel diasumsikan dalam kondisi (dry) kering.

Jumlah total sampel penelitian : 20 + 64 + 64 = 148 sampel

3.6.2. Pengujian *Marshall*

- a. Menimbang agregat sesuai dengan prosentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat campuran kira-kira 1200 gram untuk diameter 4 inch, kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu $(105 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
- b. Memanaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
- c. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik 100 ± 10 centistokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi (100°C hingga 170°C) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kerta lilin (*waxed paper*) yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
- d. Pemadatan standar dilakukan dengan pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk sebanyak 75 kali.
- e. Pemadatan lanjutan untuk kepentingan kepadatan membal (*refusal*) dilaksanakan seperti cara pemadatan standar hanya tumbukannya dilakukan sebanyak 2 x 400 tumbukan.
- f. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
- g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan ditimbang beratnya di udara.
- h. Benda uji direndam dalam air selama 10 – 24 jam supaya jenuh.
- i. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
- j. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.
- k. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu $60^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ selama 30 hingga 40 menit. Untuk uji perendaman mendapatkan stabilitas sisa pada suhu $60^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ selama 24 jam.

- l. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- m. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada kedudukan diatas salah satu batang penuntun.
- n. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
- o. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch.) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibuka arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*.
- p. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 60 detik.
- q. Untuk pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan jenis aspal Pertamina dengan tingkat penetrasi 60/70.
- r. Campuran agregat aspal standar dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisi sebanyak 75 kali pada temperatur $\pm 160^{\circ}\text{C}$.
- s. Selanjutnya campuran agregat – aspal dicampur pada suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pematatannya ditetapkan pada suhu 140°C
- t. Campuran agregat aspal untuk mencapai kepadatan membal dimasukkan kedalam cetakan dan ditumbuk tiap sisinya 400 kali pada suhu pencampuran $\pm 160^{\circ}\text{C}$ dan suhu pematatan $\pm 140^{\circ}\text{C}$.
- u. Setelah proses pematatan selesai, benda uji didinginkan selama ± 4 jam, dan kemudian dilakukan *test Marshall*.

3.6.3. Pengujian Perendaman Standard

Daya ikat berkelanjutan dari mortar terhadap agregat kasar dalam campuran bersifat sangat penting bagi kemampuan layanan dari perkerasan lentur. Ini karena salah satu kegagalan perkerasan lentur biasanya terkait dengan masalah kehilangan daya ikat ataupun

pengelupasan film aspal dalam campuran. Pada sebagian besar agregat, daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki *wetting power* yang jauh lebih besar dari aspal. Keberadaan debu yang berlebihan pada agregat juga akan berakibat kegagalan pengikatan ataupun berakibat munculnya potensi kehilangan daya ikat campuran. (Hunter, 1994).

Uji perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion Test*) merupakan uji lanjutan dari uji *Marshall* sebelumnya, dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran terhadap pengaruh air dan suhu (*water sensitivity and temperature susceptibility*). Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran, salah satunya adalah dengan mencari Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*)/*Marshall Retained Strength Index*, nilai *IRS* diperoleh dengan cara membandingkan stabilitas setelah perendaman selama 24 jam pada suhu $60^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan stabilitas selama setengah jam pada suhu yang sama. Cara menghitungnya menggunakan persamaan 3.14, semakin besar nilai *IRS* maka semakin besar tingkat durabilitas campuran tersebut. Bina Marga mensyaratkan lebih besar dari 80% untuk lapis *HRS-WC* dalam menjamin campuran tidak mengalami kehilangan daya ikat. Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Perendaman benda uji dilakukan pada temperatur $60^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendam untuk semua variasi kadar aspal.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk pengujian *Marshall* perendaman di dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*), formula seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1.

3.6.4. Pengujian Perendaman Modifikasi

(Crauss, J et al, 1981) telah mengembangkan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan indeks keawetan dan terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama seperti ditunjukkan pada persamaan 2.2. dan indeks keawetan kedua seperti ditunjukkan pada persamaan 2.3. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman (24, 72, 120, 168) jam.

3.6.5. Pengujian Analisa campuran aspal panas.

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

- a. Berat Jenis Bulk dari Total Agregat :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \text{----- (3.9)}$$

- b. Berat Jenis Aparent dari Total Agregat

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \text{----- (3.10)}$$

- c. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \text{----- (3.11)}$$

- d. Berat Jenis Teoritik Maksimum dari Campuran (*Compacted Mixture*)

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_s} + \frac{P_b}{G_b}} \text{----- (3.12)}$$

- e. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in the Compacted Mixture*) dalam persen terhadap total volume :

$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{mm}} \right) \text{----- (3.13)}$$

- f. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume :

$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{MB} + P_s}{G_{SB}} \right) \text{----- (3.14)}$$

- g. Berat isi atau kepadatan (*density*) :

$$Density = \frac{\text{Berat benda uji di udara}}{\text{Isi benda uji}} \text{----- (3.15)}$$

h. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap VMA :

$$VFA = 100x\left(\frac{VMA - VIM}{VMA}\right) \text{ ----- (3.16)}$$

i. Marshall *Quotient* (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \text{ ----- (3.17)}$$

Keterangan :

G_{sb}	= Berat Jenis Bulk total agregat dalam gr/cc
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$	= Berat Jenis Bulk dari agregat 1, 2, 3, ..., n
G_{sa}	= Berat Jenis Apparent dari total agregat
$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$	= Berat Jenis Apparent dari agregat 1, 2, 3, ..., n
G_{se}	= Berat Jenis Efektif dari total agregat
G_{mm}	= Berat Jenis Teoritis maksimum dari campuran padat tanpa rongga udara.
P_{mm}	= Total campuran yang hilang. Persen dari total campuran = 100 %
P_b	= Kadar aspal dari total berat campuran
G_b	= Berat Jenis dari aspal
P_s	= Persentase agregat, persen dari total berat campuran
G_{mb}	= Berat Jenis Bulk dari campuran
VIM	= <i>Void in the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran), Persen dari total volume
VMA	= <i>Void in Mineral Aggregate</i> (Persen rongga dalam mineral agregat), persen dari volume bulk
VFA	= Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA
MS	= Stabilitas <i>Marshall</i>
MF	= <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
MSS	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi Standar

<i>MSI</i>	= Stabilitas <i>Masrhall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60° C
<i>IRS</i>	= <i>Indeks of Retained Strength</i>
Sampel A (standard)	= Sampel air standard yang dipakai untuk keperluan laboratorium di Laboratorium ATS.
Sampel X	= Sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi Lingkungan Industri Kecil
Sampel Y	= Sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi di Jalan Ronggowarsito
Sampel Z	= Sampel air laut pasang (rob) yang diambil dari lokasi di Jalan Mpu Tantular / Pelabuhan.

3.7. Hipotesa

Dalam penelitian ini dilandasi oleh suatu hipotesa. Ditolak atau diterimanya hipotesa tersebut ditentukan oleh hasil akhir penelitian, sehingga penelitian bisa saja sesuai dengan hipotesa atau berbeda dengan perkiraan hipotesa yang dibuat. Adapun hipotesa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Semakin besar konsentrasi kadar keasaman dalam air laut pasang (rob) yang merendam campuran *HRS-WC*, akan semakin menurunkan tingkat keawetan campuran *HRS-WC* tersebut.
- b. Semakin lama suatu campuran *HRS-WC* terendam, akan semakin cepat rusak.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Sebagaimana yang telah disampaikan pada bagan alir pengujian material dilakukan dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *AASHTO* sebagai acuan apabila pengujian yang dimaksud tidak terdapat dalam SNI, pengujian material meliputi : pemeriksaan kualitas air laut pasang (rob), sifat agregat (kasar, halus dan *Filler*), serta pemeriksaan sifat fisik aspal Penetrasi 60/70.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Kualitas air laut pasang (Rob)

Hasil pemeriksaan Kualitas air laut pasang (Rob) yang diambil dari 4(empat) lokasi yaitu : sampel air yang diambil dari Laboratorium Teknik Sipil ATS sebagai standard/pembanding bagi ketiga sample air laut pasang (rob), yaitu ; sampel X dari air laut pasang (rob) dari LIK; sampel Y dari air laut pasang (rob) dari Jl. Ronggowarsito; sample Z dari air laut pasang (rob) dari pelabuhan/Jl.Mpu Tantular, perhitungan dipresentasikan seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Kualitas air Laut Pasang (Rob)

Parameter	Hasil Pemeriksaan			
	A	X	Y	Z
Warna	Jernih	Keruh	Keruh	Keruh
Bau	Tidak bau	Berbau	Agak bau	Berbau
pH	6,9	6,8	7,8	7,63
Kadar Klorida (Cl ⁻)	36,31 mg/l	37,2 mg/l	28,91 mg/l	31,3 mg/l
Kadar Sulfat (SO ₄ ⁼)	7 mg/l	53 mg/l	34 mg/l	67 mg/l
Alakalinity sebagai <i>Phenol Phthaline</i>	0,274 mg/l	1,37 mg/l	10,96 mg/l	24.66 mg/l
Alkalinity sebagai <i>Hydroksi</i>	169,88 mg/l	380,86 mg/l	257,56 mg/l	306,88 mg/l
Total Alkalinity	170,154 mg/l	382,2 mg/l	268,52 mg/l	331,54 mg/l
Keasaman <i>Methyl</i> jingga Sebagai mg CaCO ₃ /lt	0	0	0	0
Keasaman <i>Phenol Phthaline</i> sebagai mg CaCO ₃ /lt	7,469 mg/l	56,357 mg/l	11,543 mg/l	29,197 mg/l
Total Keasaman	7,469 mg/l	56,357 mg/l	11,543 mg/l	29,197 mg/l

Hasil pemeriksaan kualitas air laut pasang (rob) menunjukkan bahwa hasil yang tertinggi untuk ketiga sampel air rob adalah sampel X dibandingkan dengan air standarnya dari laboratorium, yaitu kadar Klorida $37,2 \text{ mg/l} > 36,31 \text{ mg/l}$, kadar sulfat $53 \text{ mg/l} > 7 \text{ mg/l}$, total Alkalinity $382,2 \text{ mg/l} > 170,154 \text{ mg/l}$, dan total keasaman $56,357 \text{ mg/l} > 7,469 \text{ mg/l}$. Hal ini mengindikasikan bahwa air rob dapat merusak campuran aspal panas, tetapi karena rendaman air rob dilapangan tidak dapat dihindari, maka selanjutnya akan dilihat pada tahapan penelitian yang akan dilakukan.

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pemeriksaan fisik agregat meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* dipresentasikan pada Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.

No	Sifat-sifat	Sat.	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Minimum	Maksimum		
Agregat Kasar						
1	Penyerapan air	%	-	3	2,207	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cc	2,5	-	2,612	Memenuhi
3	Berat jenis semu	gr/cc	-	-	2,771	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	gr/cc	-	-	2,669	Memenuhi
5	Tes abrasi Los Angeles	%	-	40	23,50	Memenuhi
6	Indeks kepipihan	%	-	10	1,71	Memenuhi
7	Kelekatan dengan aspal	%	95	-	98	Memenuhi
8	<i>Soundness test</i>	%	-	7	5,26	Memenuhi
Agregat Halus						
1	Penyerapan air	%	-	3	2,041	Memenuhi
2	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cc	2,5	-	2,539	Memenuhi
3	Berat jenis semu	gr/cc	-	-	2,678	Memenuhi
4	Berat jenis efektif	gr/cc	-	-	2,591	Memenuhi
5	<i>Sand equivalent</i>	%	50	-	85,71	Memenuhi
Filler						
1	Berat jenis	gr/cc	1	-	2,308	Memenuhi

Hasil-hasil pengujian agregat menunjukkan bahwa baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* memenuhi persyaratan. Agregat kasar batu Kalikuto, mempunyai nilai berat jenis *bulk* (curah) 2,612 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2,5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan $> 2,5 \text{ gr/cc}$, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian

didapat hasil 2,207 % yang lebih kecil dari persyaratan maksimum yang ditetapkan sebesar 3%.

Untuk hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, menunjukkan bahwa agregat kasar yang akan digunakan tahan terhadap abrasi, ini dapat dilihat dari hasil pengujian nilai keausan 23,50 % yang diperoleh lebih kecil dari persyaratan maksimum yang ditetapkan sebesar 40 %, sedangkan nilai kelekatan agregat kasar terhadap aspal 98 %, menunjukkan bahwa lebih dari 95 % sebagai persyaratan minimum yang ditetapkan agregat kasar terselimuti aspal.

Pengujian Indeks Kepipihan yang bertujuan untuk membatasi jumlah agregat kasar bentuk pipih dalam campuran yang ditunjukkan dalam nilai indeks kepipihan. Dari hasil pengujian didapat nilai indeks kepipihan 1,71 % dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 10 %.

Pengujian *Soundness* bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap pengaruh cuaca yang menunjukkan tingkat keawetan suatu agregat, dari hasil pengujian pada agregat yang lolos saringan ¾” dan tertahap 3/8”, serta lolos saringan 3/8” tertahan # 4, hasil rerata yang diperoleh 5,26% dibawah batas maksimal yang dipersyaratkan sebesar 7 %.

Pada pengujian agregat halus, hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat halus (pasir), berasal dari kali Muntilan, mempunyai nilai berat jenis *bulk* (curah) 2,539 gr/cc lebih besar dari nilai berat jenis minimal sebesar 2,5 gr/cc, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif tidak dipersyaratkan, tetapi sebaiknya mengacu pada persyaratan > 2,5 gr/cc, sedangkan penyerapan air diperoleh dari pengujian didapat hasil 2,041 % yang lebih kecil dari persyaratan maksimum yang ditetapkan sebesar 3 %.

Uji *sand equivalent* bertujuan untuk mengetahui kandungan kadar lumpur pada agregat halus, sebagai persyaratan untuk nilai *sand equivalent* batas minimum 50 %, sedangkan hasil uji yang diperoleh dari agregat halus 85,71% memenuhi batas yang dipersyaratkan.

Pada pengujian untuk *filler* sebagaimana dipersyaratkan hanya diuji berat jenis, sebagai rujukkan persyaratan minimal nilai berat jenisnya 1 %, sedangkan hasil uji yang diperoleh nilainya sebesar 2,308 gr/cc.

Secara keseluruhan baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran Spesifikasi baru pada Lataston (*HRS-WC*).

4.1.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Pemeriksaan dilakukan terhadap sifat fisik aspal penetrasi 60/70 untuk ex Pertamina yang telah memenuhi spesifikasi SNI dan AASHTO. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal Pen. 60/70. Ex Pertamina

No	Sifat-sifat	Satuan	Spesifikasi Pen 60/70		Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi (25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik)	0,1 mm	60	79	62	Memenuhi
2	Titik lembek (<i>ring and ball test</i>)	⁰ C	48	58	54	Memenuhi
3	Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	⁰ C	200	-	321	Memenuhi
4	Kehilangan berat (163 ⁰ C), 5 jam	% berat	-	0,8	0,16	Memenuhi
5	Kelarutan (CCl ₄)	% berat	99	-	99,32	Memenuhi
6	Daktilitas (25 ⁰ C, 5 cm per menit)	Cm	100	-	>110	Memenuhi
7	Pen setelah kehilangan berat	% asli	54	-	81,83	Memenuhi
8	Daktilitas setelah kehilangan berat	Cm	50	-	>110	Memenuhi
9	Berat jenis (25 ⁰ C)	gr/cm ³	1	-	1,032	Memenuhi

Aspal merupakan hasil dari sisa (residu) dari produksi minyak mentah, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dilaboratorium, pemeriksaan aspal terdiri dari :

a. Pemeriksaan Penetrasi

Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25⁰C dengan beban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak lima kali. Dari hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil 62 yang berarti memenuhi persyaratan antara 60 mm – 79 mm.

b. Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus, pada suhu 25⁰C dengan kecepatan tarik 5 cm/menit. Besarnya daktilitas aspal 60/70 disyaratkan minimal 100 cm. Dari hasil uji pemeriksaan daktilitas terhadap kedua jenis aspal diatas diperoleh hasil diatas 110 cm, sehingga kedua jenis aspal penetrasi 60/70 diatas menunjukkan hasil memenuhi persyaratan.

c. Pemeriksaan Titik Lembek

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah mengukur nilai temperatur dimana bola-bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga aspal tersebut menyentuh dasar pelat yang terletak di bawah cincin pada jarak 1 (inch), sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Berat bola baja 3,45 -3,55 gr dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5⁰C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara 48⁰C – 58⁰C. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai 54 yang berarti memenuhi syarat.

d. Pemeriksaan Titik Nyala

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama diatas permukaan aspal dan menentukan suhu dimana terjadi terbakarnya pertama kali diatas permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik bakar aspal, maka dapat diketahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sebelum terbakar. Besarnya titik nyala yang disyaratkan untuk penetrasi 60/70 minimal 200⁰C. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan titik nyala sebesar 321 yang berarti memenuhi persyaratan yang ditentukan

e. Pemeriksaan kehilangan berat

Pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163⁰C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur dengan menggunakan aspal, untuk itu dipersyaratkan kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan kehilangan berat aspal 0,16 % yang berarti memenuhi persyaratan yang ditentukan.

f. Pemeriksaan penetrasi setelah kehilangan berat.

Aspal yang dipanaskan pada suhu 163⁰C selama waktu ± 5jam akan mengalami kehilangan berat, sebagai akibatnya aspal akan mengalami perubahan sifat, perubahan ini akan diketahui dari pemeriksaan terhadap aspal tersebut. Pemeriksaan aspal

dilakukan uji penetrasi setelah kehilangan berat yang pada umumnya aspal yang sudah mengalami penurunan berat akan mempunyai angka penetrasi yang lebih kecil dari angka penetrasi standarnya, dengan kata lain kekerasannya menjadi meningkat, tetapi bukan berarti kualitas aspal menjadi semakin baik, dikarenakan sifat aspal menjadi kurang lentur dan mudah retak, dalam hal ini justru akan mengurangi kualitas aspal. Dari hasil pemeriksaan diperoleh persentasi penetrasi setelah kehilangan berat sebesar 81,83 % yang memenuhi persyaratan (minimum 54 %).

g. Pemeriksaan kelarutan dalam Carbon tetra Clorida (CCl_4)

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam CCl_4 , dengan adanya bahan-bahan tidak terlarut dalam CCl_4 menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Persyaratan dalam pemakaian aspal yang diinginkan adalah aspal dalam kondisi tidak tercampur dengan bahan-bahan lain yang tidak terlarut dalam CCl_4 , untuk aspal penetrasi 60/70 disebutkan minimal sebesar 99%. Dari hasil pemeriksaan diperoleh hasil 99,32 % yang berarti memenuhi persyaratan.

h. Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan hasil 1,032 gr/cm³ diatas persyaratan, sehingga aspal ex Pertamina dapat digunakan dalam penelitian sebagai bahan ikat pada campuran *HRS-WC*.

Secara keseluruhan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik aspal Penetrasi (60/70) ex Pertamina telah memenuhi standar spesifikasi aspal penetrasi 60/70.

Pengujian *Marshall* dan uji Durabilitas dilakukan dalam dua tahap. tahap pertama adalah untuk mencari Kadar aspal optimum dengan tolok ukur besaran *VIM* antara 3%-6% sesuai Spesifikasi baru untuk campuran Lataston *HRS-WC*, sedangkan tahap kedua untuk mencari sifat-sifat *Marshall* campuran pada kondisi standard (2x75) tumbukan maupun *refusal density* (2x400) tumbukan pada kadar aspal optimum dengan membuat variasi durasi perendaman (24, 72, 120, 816) jam, serta Pengujian perendaman standard (*IRS*) dan pengujian perendaman modifikasi (indeks keawetan pertama dan indek keawetan kedua) dengan membuat 4 variasi pengambilan sampel air : air standard dari Laboratorium; air

laut pasang (rob) dari LIK; air laut pasang (rob) dari jl. Ronggowarsito dan air laut pasang (rob) dari pelabuhan/jl.Mpu Tantular.

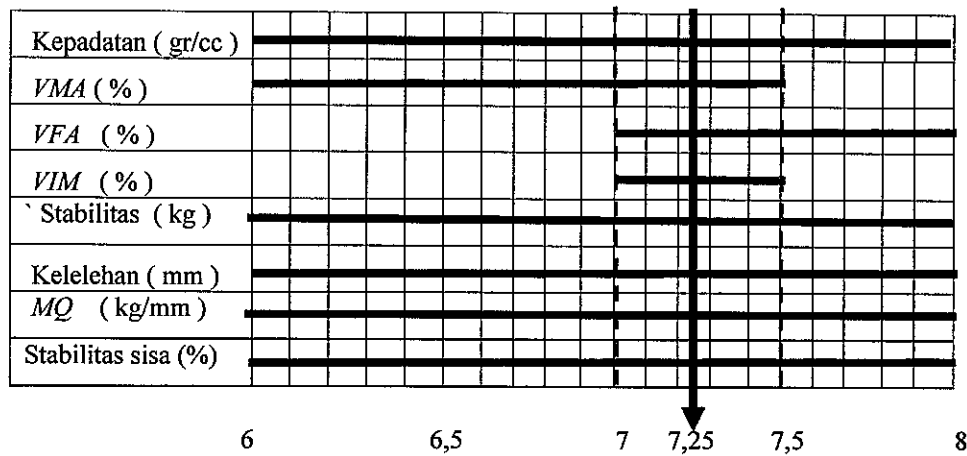
4.1.4. Hasil Pengujian *Marshall* dan Indeks Stabilitas Sisa (*IRS*) Tahap I

Pada tahap pertama disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk masing-masing kondisi *Dry* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum perkiraan sebesar 7 % (sesuai dengan persamaan 3.8) terhadap total agregat dan dilakukan variasi kadar aspal sebesar 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 %, 8 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4. dan hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran D.

Tabel 4.4. Hasil Test *Marshall* Campuran *HRS-WC* dengan variasi kadar aspal pada(2x75) tumbukan

No	Karakteristik	Syarat	% Kadar aspal terhadap total agregat				
			6	6,5	7	7,5	8
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,206	2,222	2,231	2,246	2,277
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,36	18,14	18,21	18,05	17,31
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	52,29	61,35	69,42	78,63	91,81
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	8,76	7,01	5,57	3,86	1,43
5	Stabilitas (kg)	min 800	1349	1370	1485	1548	1466
6	Kelelahan (mm)	min 2.0	3,02	3,06	3,10	3,12	3,31
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	446,5	447	478	495	468
8	Stabilitas sisa (%)	min 80 %	85	86	87	93	91

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, sesuai Spesifikasi Baru serta dari hasil analisa seperti pada Tabel 4.4 didapat nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk *VMA* >18% pada kadar aspal 6% - 7,5%, *VFA* > 65% pada kadar aspal 7% - 8% dan *VIM* 3% - 6% pada kadar aspal 7% - 7,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas dan fleksibilitas di atas, ditentukan kadar aspal optimum 7,25 %, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum Penetrasi 60/70

4.1.5. Hasil Pengujian *Marshall* (2 x 75) tumbukan dan (2 x 400) tumbukan, serta Uji Perendaman Standard dan Modifikasi pada Kadar Aspal Optimum.

Kemudian dilanjutkan pada penelitian tahap II yaitu untuk mencari nilai karakteristik *Marshall* kondisi standar (2x75) tumbukan dan kepadatan membal (2x400) tumbukan serta uji Perendaman standard maupun modifikasi pada durasi perendaman (1, 3, 5, 7) hari.

Pada tahap II, juga disiapkan masing-masing dua jenis sampel untuk kondisi *Dry* dan *Soaked*, dengan pembuatan benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum 7,25 %, dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5, sampai dengan Tabel 4.12, hasil secara lengkap terdapat pada Lampiran E

Tabel 4.5. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 7,469 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,239	2,229	2,222	2,204
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,12	18,47	18,71	19,38
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	74,02	72,37	71,22	68,20
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	4,71	5,11	5,40	6,17
5	Stabilitas (kg)	min 800	1505	1405	1299	1173
6	Kelelahan (mm)	min 2.0	3	3,09	3,15	3,18
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	508,7	458	416	371
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	91	87	85	83

Tabel 4.6. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 56,357 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,235	2,227	2,209	2,184
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,26	18,55	19,21	20,11
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	73,40	71,95	68,98	65,10
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	4,86	5,21	5,97	7,02
5	Stabilitas (kg)	min 800	1120	1044	970	796
6	Kelelahan (mm)	min 2.0	3,21	3,33	3,46	3,58
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	349,3	316	282	224
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	86	85	82	74

Tabel 4.7. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 11,543 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,237	2,227	2,217	2,203
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,19	18,54	18,90	19,41
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	73,71	72,01	70,38	68,07
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	4,78	5,19	5,61	6,21
5	Stabilitas (kg)	min 800	1359	1303	1143	1032
6	Kelelahan (mm)	min 2.0	3,11	3,13	3,19	3,43
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	445,6	421	361	305
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	87	86	85	84

Tabel 4.8. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) yang direndam air dengan Total Keasaman = 29,197 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,236	2,227	2,210	2,199
2	<i>VMA</i> (%)	min 18	18,23	18,56	19,18	19,56
3	<i>VFA</i> (%)	min 65	73,51	71,92	69,06	67,39
4	<i>VIM</i> (%)	3 – 6	4,83	5,21	5,94	6,38
5	Stabilitas (kg)	min 800	1212	1165	1111	994
6	Kelelehan (mm)	min 2.0	3,16	3,19	3,23	3,45
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	min 200	384,2	366	345	290
8	Stabilitas sisa (%)	80 %	88	87	84	80

Tabel 4.9. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 7,469 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,322	2,308	2,301	2,295
2	<i>VMA</i> (%)	-	15,08	15,59	15,83	16,06
3	<i>VFA</i> (%)	-	92,30	88,71	87,16	85,67
4	<i>VIM</i> (%)	2	1,16	1,76	2,04	2,31
5	Stabilitas (kg)	-	1737	1672	1492	1240
6	Kelelehan (mm)	-	2,1	2,16	2,26	2,38
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	-	831	778	661	524
8	Stabilitas sisa (%)	-	91	87	87	87

Tabel 4.10. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 56,357 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,313	2,292	2,286	2,284
2	<i>VMA</i> (%)	-	15,40	16,15	16,39	16,46
3	<i>VFA</i> (%)	-	90,02	85,03	83,59	83,14
4	<i>VIM</i> (%)	2	1,54	2,42	2,69	2,77
5	Stabilitas (kg)	-	1385	1276	1210	1144
6	Kelelehan (mm)	-	2,31	2,35	2,38	2,44
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	-	599,9	545	512	473
8	Stabilitas sisa (%)	-	87	86	85	83

Tabel 4.11. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal Density* (2x400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 11,543 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,320	2,300	2,298	2,294
2	<i>VMA</i> (%)	-	15,15	15,86	15,95	16,10
3	<i>VFA</i> (%)	-	91,77	86,90	86,35	85,41
4	<i>VIM</i> (%)	2	1,25	2,08	2,18	2,35
5	Stabilitas (kg)	-	1574	1503	1319	1188
6	Kelelahan (mm)	-	2,19	2,20	2,28	2,39
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	-	721	687	581	499
8	Stabilitas sisa (%)	-	89	86	85	84

Tabel 4.12. Hasil Pengujian *Marshall* Tahap II pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) yang direndam air dengan Total Keasaman = 29,197 mg/lt

No	Karakteristik	Syarat	Durasi Perendaman (jam)			
			24	72	120	168
1	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,318	2,294	2,290	2,288
2	<i>VMA</i> (%)	-	15,24	16,09	16,25	16,33
3	<i>VFA</i> (%)	-	91,14	85,44	84,44	83,96
4	<i>VIM</i> (%)	2	1,35	2,34	2,53	2,62
5	Stabilitas (kg)	-	1534	1474	1213	1175
6	Kelelahan (mm)	-	2,20	2,26	2,38	2,41
7	<i>MQ</i> (kg/mm)	-	699	653	513	489
8	Stabilitas sisa (%)	-	87	86	85	85

Selanjutnya dilakukan pengujian perendaman standard (menghitung Indeks Stabilitas Sisa) dan pengujian perendaman modifikasi (menghitung Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua). Perhitungan sesuai persamaan 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 dan 2.5 dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.13 sampai dengan Tabel 4.16.

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Perendaman standard Tahap II pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan.

Total Keasaman (mg/l)	Perendaman ½ jam		Perendaman (24 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman 5 hari (120 jam)		Perendaman (168 jam)	
	Sta. (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
7,469	1577	100	1433	90,87	1311	83,13	1194	75,71	1062	67,34
11,543	1453	100	1264	86,99	1204	82,86	1053	72,47	942	64,83
29,197	1289	100	1135	88,05	1081	83,86	1015	78,74	886	68,74
56,357	1202	100	1038	86,36	961	79,95	874	72,71	676	56,24

Tabel 4.14. Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi standard (2x75) tumbukan.

Total Keasaman (mg/l)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
		r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100-a) %	A (kg)	S _A = (So-A) kg
7,469	24 jam	0,389		6,128		4,471		95,529	70,500	1506,500
	72 jam	0,236	0,624	3,720	9,848	8,375	12,846	87,154	202,576	1374,424
	120 jam	0,203	0,828	3,205	13,053	12,093	24,938	75,062	393,278	1183,722
	168 jam	0,195	1,023	3,075	16,128	16,280	41,218	58,782	650,012	926,988
	Total		1,023		16,128		41,218		58,782	650,012
11,543	24 jam	0,554		8,043		6,368		93,632	92,531	1360,469
	72 jam	0,240	0,793	3,483	11,525	8,509	14,877	85,123	216,167	1236,833
	120 jam	0,230	1,024	3,347	14,872	13,707	28,585	71,415	415,333	1037,667
	168 jam	0,210	1,234	3,051	17,923	17,532	46,117	53,883	670,073	782,927
	Total		1,234		17,923		46,117		53,883	670,073
29,197	24 jam	0,508		6,553		5,849		94,151	75,396	1213,604
	72 jam	0,226	0,734	2,909	9,462	8,012	13,861	86,139	178,674	1110,326
	120 jam	0,178	0,912	2,293	11,755	10,584	24,446	75,554	315,103	973,897
	168 jam	0,187	1,099	2,406	14,161	15,586	40,031	59,969	516,003	772,997
	Total		1,099		14,161		40,031		59,969	516,003
56,357	24 jam	0,581		6,979		6,680		93,320	80,292	1121,708
	72 jam	0,280	0,861	3,371	10,349	9,955	16,635	83,365	199,955	1002,045
	120 jam	0,228	1,089	2,745	13,094	13,587	30,222	69,778	363,272	838,728
	168 jam	0,261	1,351	3,140	16,234	21,815	52,037	47,963	625,489	576,511
	Total		1,351		16,234		52,037		47,963	625,489

Tabel 4.15. Hasil Pengujian perendaman standard Tahap II pada kondisi Refusal Density (2 x 400) tumbukan.

Total Keasaman (mg/l)	Perendaman ½ jam		Perendaman (24 jam)		Perendaman (72 jam)		Perendaman (120 jam)		Perendaman (168 jam)	
	Sta. (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)	Stabilitas (kg)	IRS (%)
7,469	1823	100	1650	90,51	1559	85,52	1386	76,03	1156	63,41
11,543	1665	100	1482	89,01	1390	83,48	1214	72,91	1086	65,23
29,197	1645	100	1423	86,50	1366	83,04	1117	67,90	1081	65,71
56,357	1483	100	1287	86,78	1183	79,77	1112	74,98	1041	70,20

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Perendaman Modifikasi Tahap II pada kondisi *Refusal density* (2 x 400) tumbukan.

Total Keasaman (mg/l)	Durasi Perendaman	Indeks Durabilitas Pertama				Indeks Durabilitas Kedua				
		r (%)		R (kg)		a (%)		Sa = (100 - a) %	A (kg)	S _A = (So - A) kg
7,469	24 jam	0,404		7,362		4,646		95,354	84,698	1738,302
	72 jam	0,203	0,606	3,692	11,054	7,191	11,837	88,163	215,781	1607,219
	120 jam	0,201	0,807	3,657	14,711	11,936	23,772	76,228	433,371	1389,629
	168 jam	0,218	1,025	3,982	18,693	18,240	42,012	57,988	765,878	1057,122
	Total	1,025		18,693		42,012		57,988	765,878	1057,122
11,543	24 jam	0,468		7,787		5,381		94,619	89,594	1575,406
	72 jam	0,231	0,699	3,846	11,633	8,201	13,582	86,418	226,139	1438,861
	120 jam	0,227	0,925	3,774	15,407	13,487	27,069	72,931	450,699	1214,301
	168 jam	0,208	1,133	3,457	18,864	17,336	44,405	55,595	739,338	925,662
	Total	1,133		18,864		44,405		55,595	739,338	925,662
29,197	24 jam	0,574		9,447		6,607		93,393	108,688	1536,313
	72 jam	0,237	0,811	3,902	13,349	8,421	15,028	84,972	247,219	1397,781
	120 jam	0,269	1,080	4,418	17,767	15,982	31,010	68,990	510,119	1134,881
	168 jam	0,205	1,285	3,367	21,134	17,092	48,102	51,898	791,279	853,721
	Total	1,285		21,134		48,102		51,898	791,279	853,721
56,357	24 jam	0,562		8,340		6,471		93,529	95,958	1387,042
	72 jam	0,283	0,845	4,196	12,536	10,044	16,515	83,485	244,917	1238,083
	120 jam	0,209	1,055	3,105	15,641	12,456	28,971	71,029	429,644	1053,356
	168 jam	0,178	1,233	2,639	18,280	14,858	43,829	56,171	649,986	833,014
	Total	1,233		18,280		43,829		56,171	649,986	833,014

Keterangan

$$r = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

$$R = (r / 100) * S_0$$

$$a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

$$S_a = (100 - a) \%$$

$$A = (a / 100) * S_0$$

$$S_A = S_0 - A$$

4.2 Pembahasan

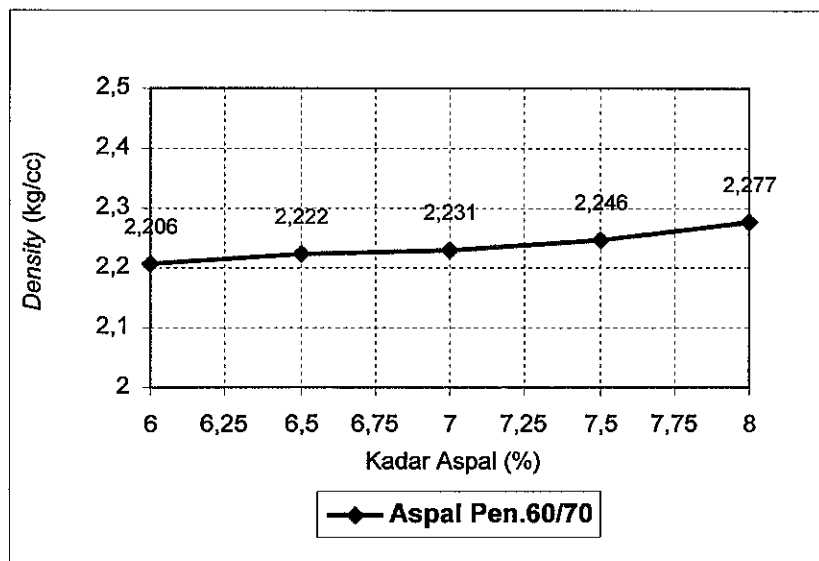
4.2.1. Karakteristik Campuran *HRS-WC*

- a. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Density* campuran *HRS-WC*.

Nilai *Density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat, dibandingkan pada campuran yang mempunyai *density* rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas bahan susun dan cara pemadatan. Suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam, kadar aspal tinggi, porositas butiran rendah. Hubungan antara kadar aspal dengan *density* campuran *HRS-WC* dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.2. dibawah ini.

Tabel 4.17. Kadar Aspal terhadap Nilai *Density* campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (gr/cc)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Nilai <i>Density</i>	-	2,206	2,222	2,231	2,246	2,277



Gambar 4.2. Grafik hubungan Kadar Aspal vs *Density*

Seperti terlihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.2. semakin bertambahnya kadar aspal, semakin rapat campurannya. Hal ini disebabkan karena setiap penambahan kadar aspal, rongga dalam campuran masih dapat terisi oleh aspal sehingga

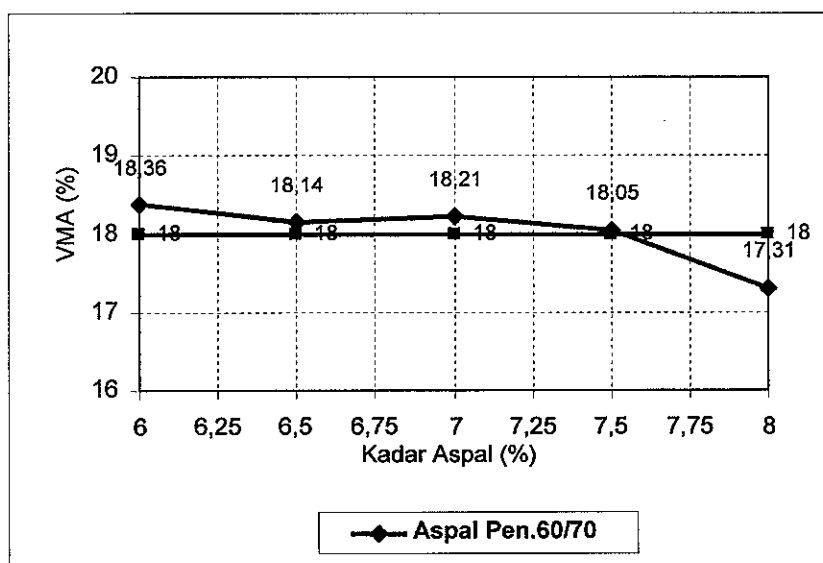
campuran menjadi semakin rapat. Dalam spesifikasi baru tidak ada persyaratan khusus mengenai tingkat *density*. Pada umumnya nilai *density* dipergunakan dalam persyaratan teknis dilapangan dimana *density* rerata lapisan yang telah selesai dipadatkan tidak boleh kurang dari 96 % *density* laboratorium Sebagai acuan disarankan tingkat *density* > 2 gr/cc.

b. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void in Mineral Agreggate (VMA)* campuran HRS-WC

Void in Mineral Agreggate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara kadar aspal dengan *VMA* dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.3, dibawah ini.

Tabel 4.18. Kadar Aspal terhadap Nilai *VMA* campuran HRS-WC

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Nilai <i>VMA</i>	Min.18	18,36	18,14	18,21	18,05	17,31



Gambar 4.3. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VMA*

Dari Tabel 4.18. dan Gambar 4.3. di atas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal, nilai *VMA* campuran semakin mengecil, karena rongga-rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak. Sedangkan naiknya nilai *VMA* pada kadar aspal 7 % disebabkan karena jumlah aspal yang masuk kedalam rongga-rongga tersebut masih kurang, selanjutnya terus menurun Dalam penelitian ini nilai *VMA* yang memenuhi syarat > 18 % pada kadar aspal 6% - 7,5%.

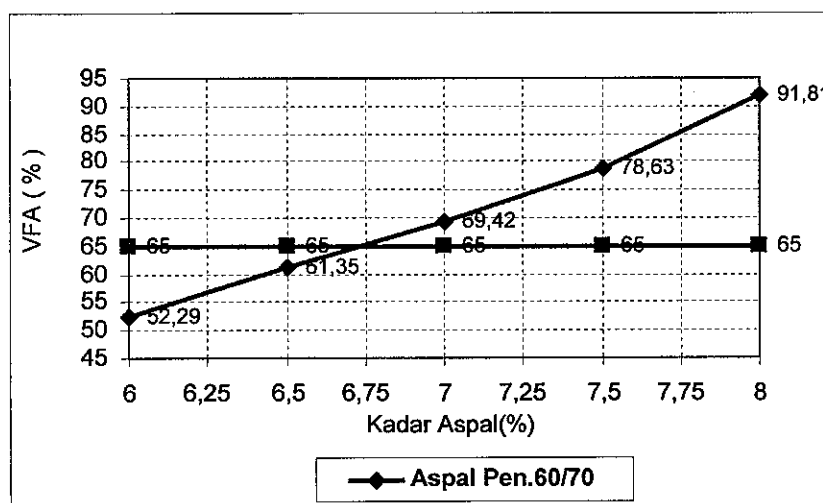
c. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* campuran *HRS-WC*.

Nilai *VFA* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFA* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila *VFA* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VFA* dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.4. dibawah ini :

Tabel 4.19 Kadar Aspal terhadap Nilai *VFA* Campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Nilai <i>VFA</i>	Min.65	52,29	61,35	69,42	78,63	91,81



Gambar 4.4. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VFA*

Dari Tabel 4.19. dan Gambar 4.4. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC* mempunyai nilai *VFA* naik seiring bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan rongga dalam campuran mengecil karena bertambahnya kadar aspal yang meresap dan menyelimuti butiran agregat. Nilai *VFA* menunjukkan perbandingan jumlah kandungan aspal dan jumlah kandungan rongga didalam campuran. Nilai *VFA* yang rendah berarti jumlah aspal efektif yang mengisi rongga – rongga antar butir agregat sedikit, berarti rongga udaranya besar. Hal ini akan mengurangi keawetan dari campuran. Sebaliknya nilai *VFA* yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* karena rongga antar butiran terlalu kecil.

Dalam penelitian ini *VFA* yang memenuhi syarat > 65%, pada kadar aspal 7% - 8%,

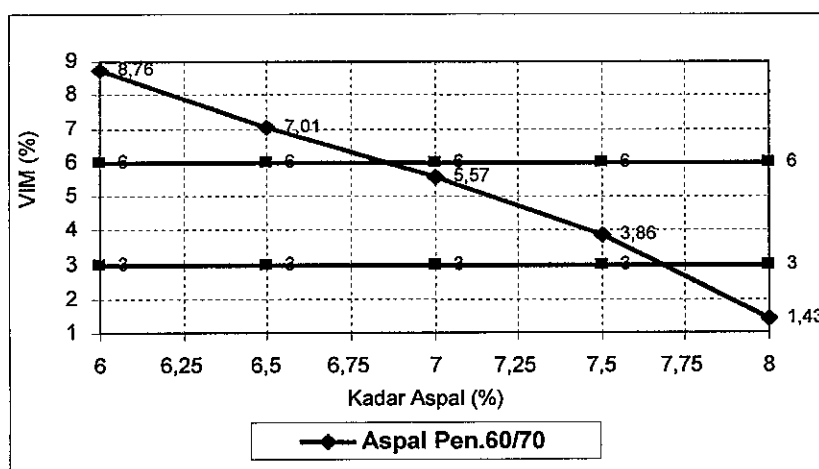
d. Pengaruh Kadar Aspal terhadap nilai *Void In the Mix (VIM)* campuran *HRS-WC*

VIM menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agrgat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VIM* dapat dilihat pada Tabel 4.20, dan Gambar 4.5, dibawah ini :

Tabel 4.20. Kadar Aspal terhadap Nilai *VIM* campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Nilai <i>VIM</i>	3 - 6	8,76	7,01	5,57	3,86	1,43



Gambar 4.5. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *VIM*

Dari Tabel 4.20. dan Gambar 4.5. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC* sesuai dalam spesifikasi baru, Nilai *VIM* antara 3% - 6%. Nilai *VIM* yang rendah dibawah 3% berarti rongga pada campuran relatif kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan (*bleeding*). Sebaliknya untuk nilai *VIM* yang tinggi diatas 6 % akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara, sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet dan mudah retak (*crack*).

Dalam penelitian ini nilai *VIM* yang memenuhi syarat (3% - 6%) yang memenuhi syarat pada kadar aspal 7% - 7,5%.

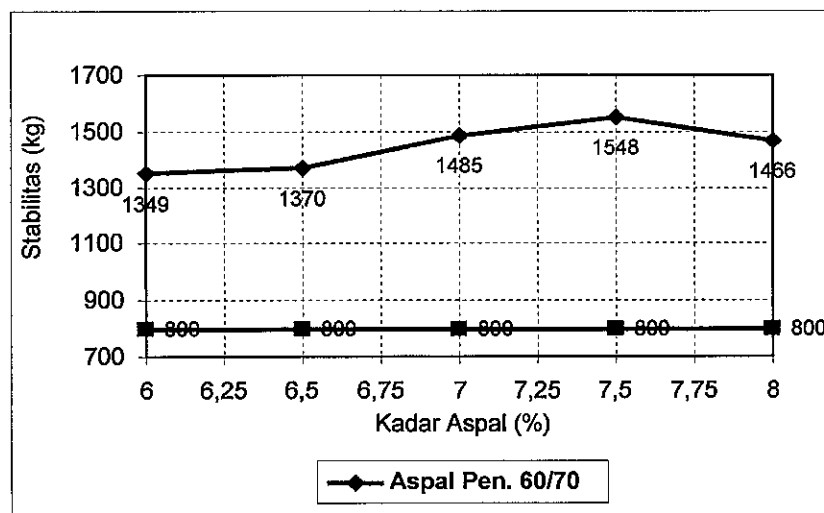
e. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Stabilitas campuran *HRS-WC*

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Spesifikasi Baru menetapkan untuk lapis Lataston *HRS-WC* yang dilalui oleh < 1.000.000 *ESA*, stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.21, dan Gambar 4.6, dibawah ini :

Tabel 4.21 Kadar Aspal terhadap Nilai Stabilitas campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (kg)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
Stabilitas	Min. 800	1349	1370	1485	1548	1466



Gambar 4.6. Grafik hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas

Dari Tabel 4.21. dan Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC*, sesuai dalam spesifikasi Baru, berada diatas stabilitas minimal 800 kg yang disyaratkan. Hal ini terkait pada kinerja nilai *Density, VFA, VFA, VIM*, seperti ditunjukkan pada kadar aspal sampai 6% stabilitas naik dari 1349 kg sampai kadar aspal 7,5% menjadi 1548 kg. Selanjutnya stabilitas turun yang menunjukkan terlalu tebal film aspal yang menyelimuti agregat, sehingga stabilitas menjadi menurun. Secara keseluruhan stabilitas naik dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu, begitu juga apabila penambahan kadar aspal melebihi batas justru akan menurunkan nilai stabilitas.

f. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Flow* campuran *HRS-WC*

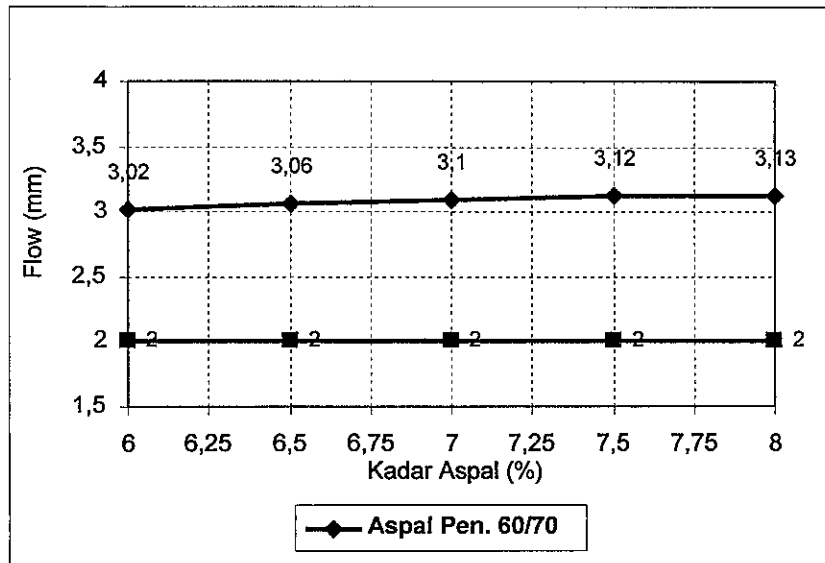
Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas, sehingga akan mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (*deformasi plastis*) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Tabel 4.22, dan Gambar 4.7. dibawah ini :

Tabel 4.22. Kadar Aspal terhadap Nilai *Flow* campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (mm)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
<i>Flow</i>	Min. 2	3,02	3,06	3,10	3,12	3,13



Gambar 4.7. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *Flow*

Dari Tabel 4.22. dan Gambar 4.7. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC*, sesuai dalam spesifikasi baru berada diatas *flow* minimal 2 mm yang disyaratkan. Dengan penambahan kadar aspal maka nilai *flow* juga naik, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aspal, campuran menjadi semakin plastis. Sesuai sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal yang menyebabkan nilai *flow* menjadi tinggi. Nilai *flow* maksimum sebesar 3,13 mm tercapai pada kadar aspal 8%, sesuai dengan sifat aspal sebagai bahan pengikat, maka semakin banyak aspal menyelimuti batuan semakin baik ikatan antara agregat dengan aspal. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada semua kadar aspal dari 6% - 8% nilai *flow* memenuhi spesifikasi sebesar >2%.

g. Pengaruh Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient* campuran *HRS-WC*

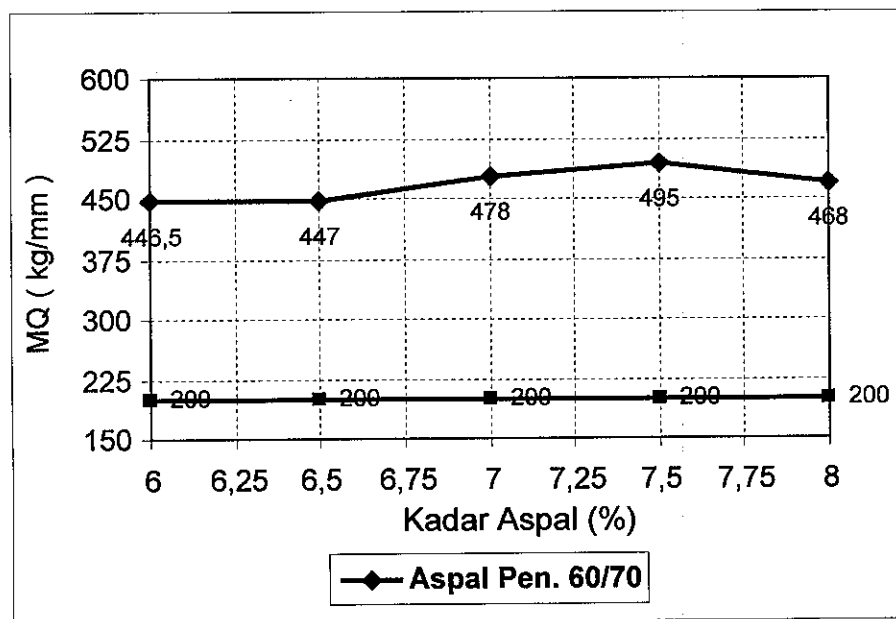
Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran (*frictional resistance*) dan saling mengunci antar butiran (*interlocking*) yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai MQ dapat dilihat pada Tabel 4.23. dan Gambar 4.8. dibawah ini :

Tabel 4.23. Kadar Aspal terhadap Nilai *Marshall Quotient* campuran *HRS-WC*

Karakteristik	Spesifikasi (kg/mm)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
MQ	Min.200	446,5	447	478	495	468



Gambar 4.8. Grafik hubungan Kadar Aspal dan *Marshall Quotient*

Dari Tabel 4.23. dan Gambar 4.8. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran *HRS-WC* sesuai dalam spesifikasi baru berada diatas MQ minimal 200 kg/mm yang disyaratkan. Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, menunjukkan campuran akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi cenderung bersifat kaku dan

kurang lentur. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada semua kadar aspal dari 6% - 8% nilai MQ memenuhi spesifikasi sebesar >200 kg/mm.

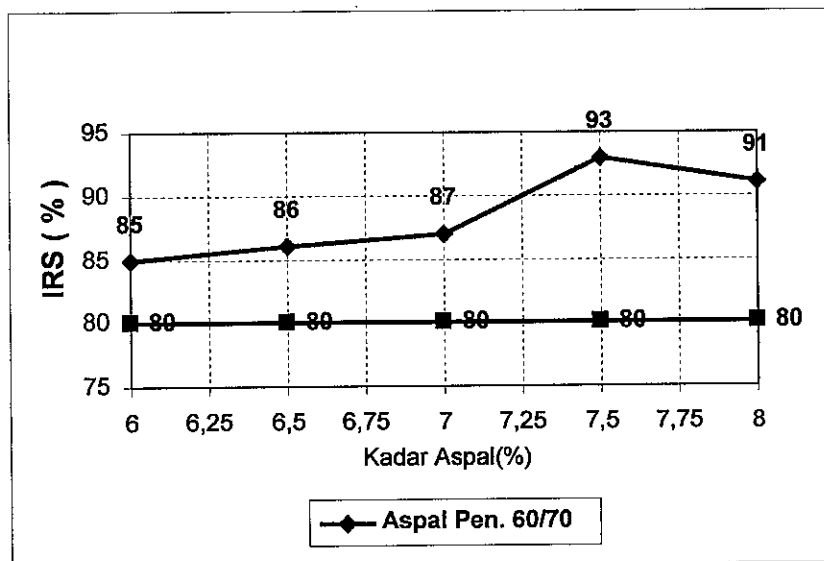
h. Pengaruh Kadar Aspal terhadap Indeks Stabilitas Sisa (IRS) campuran $HRS-WC$

Nilai Indeks Stabilitas Sisa diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu 60° C selama 30 (tigapuluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 (duapuluh empat) jam ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) standar dari suatu campuran beraspal panas.

Hubungan antara kadar aspal dengan nilai Indeks Stabilitas Sisa dapat dilihat pada Tabel 4.24, dan Gambar 4.9. dibawah ini :

Tabel 4.24 Kadar Aspal terhadap Nilai Indeks Stabilitas Sisa campuran $HRS-WC$

Karakteristik	Spesifikasi (%)	Kadar Aspal (%)				
		6	6,5	7	7,5	8
ISS	Min. 80	85	86	87	93	91



Gambar 4.9. Grafik hubungan Kadar Aspal dan IRS

Dari Tabel 4.24 dan Gambar 4.9. diatas dapat dilihat bahwa pada campuran $HRS-WC$ sesuai spesifikasi Baru, berada diatas IRS minimal 80 % untuk beban lalu lintas dibawah 1.000.000 ESA yang disyaratkan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beraspal panas yang mengalami perendaman dengan suhu 60° C selama 24 jam dibandingkan dengan perendaman standar akan mengalami

penurunan nilai stabilitas. Hal ini disebabkan karena selama proses perendaman terindikasi terdapat air yang masuk kepori-pori campuran, sehingga berpengaruh pada sifat adhesi dan kohesi aspal yang akan mengurangi daya ikat aspal terhadap agregat. . Dari hasil penelitian dapat dilihat pada semua kadar aspal dari 6% - 8% nilai *IRS* memenuhi spesifikasi sebesar >80 %.

4.2.2 Evaluasi Hasil laboratorium terhadap Karakteristik Campuran *HRS-WC* Tahap I terhadap Spesifikasi

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *HRS-WC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi Baru.

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* tersebut diatas pada tahap I, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1., yang memenuhi syarat untuk $VMA > 18\%$ pada kadar aspal 6% - 7,5%, $VFA > 65\%$ pada kadar aspal 7% - 8% dan $VIM = 3\% - 6\%$ pada kadar aspal 7% - 7,5%, dari hasil analisis *void* dan uji stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *IRS* yang telah memenuhi persyaratan, maka ditentukan kadar aspal optimum 7,25 %. Selanjutnya dilaksanakan pembahasan Tahap kedua untuk mencari sifat-sifat *Marshall* dan Perendaman Modifikasi campuran pada kadar aspal optimum dengan membuat variasi lama perendaman (24, 72, 120, 168) jam pada tumbukan standard (2 x 75) tumbukan, serta campuran pada *refusal density* (2 x 400) tumbukan dengan 4 (empat) variabel sampel air (air standard dari Laboratorium; air laut pasang (rob) dari LIK; air laut pasang (rob) dari Jl. Ronggowarsito; air laut pasang (rob) dari pelabuhan/Jl.Mpu Tantular).

4.2.3 Karakteristik *Marshall* Tahap II pada kondisi standard dan kondisi *Refusal Density* terhadap lama perendaman.

- a. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

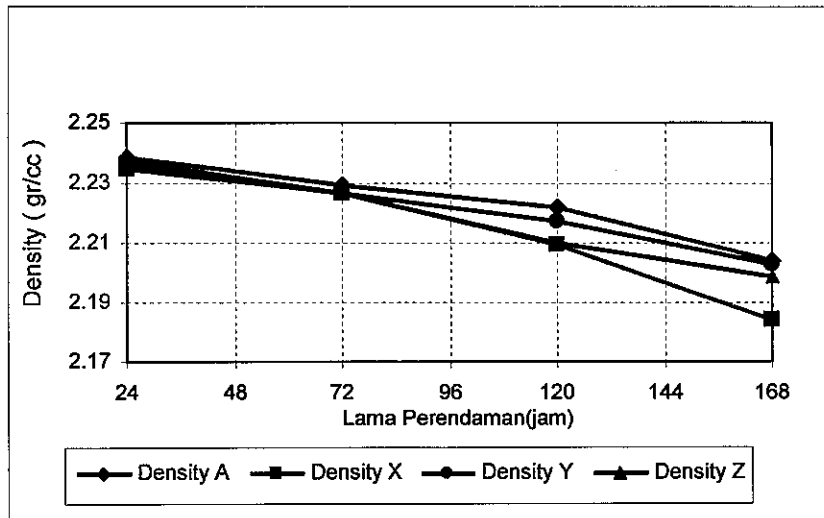
Nilai *density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah temperatur pemadatan, gradasi, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal, porositas butiran. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih tinggi. Pengaruh temperatur pemadatan terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.25. dan Tabel 4.26. serta Gambar 4.10. dan Gambar 4.11. berikut ini :

Tabel 4.25. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75)

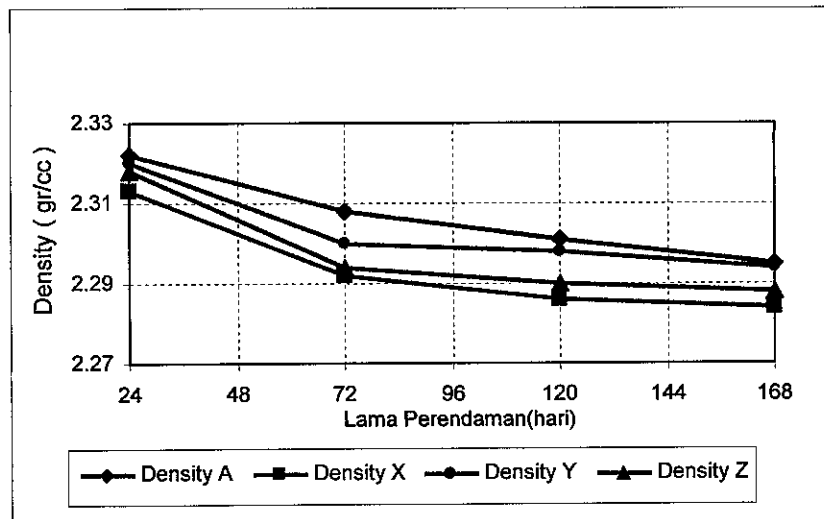
Total Keasaman (mg/l)	Syarat	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>Density</i> (gr/cc)			
A = 7,469	-	2,239	2,229	2,222	2,204
Y = 11,543	-	2,237	2,227	2,217	2,203
Z = 29,197	-	2,236	2,227	2,210	2,199
X = 56,357	-	2,235	2,227	2,209	2,184

Tabel 4.26. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/l)	Syarat	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>Density</i> (gr/cc)			
A = 7,469	-	2,322	2,308	2,301	2,295
Y = 11,543	-	2,320	2,300	2,298	2,294
Z = 29,197	-	2,318	2,294	2,290	2,288
X = 56,357	-	2,313	2,292	2,286	2,284



Gambar 4.10. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.11. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *density* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Seperti terlihat pada Tabel 4.25. dan Tabel 4.26. serta Gambar 4.10. dan Gambar 4.11. Nilai *density* pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, sehingga air akan sulit masuk dalam campuran yang menyebabkan *density* naik. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *density*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan campuran tidak mampu untuk mempertahankan kerapatannya, karena melemahnya ikatan antar agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat

karena pengaruh tingkat kadar total keasaman dari air. Dari Tabel 4.1. dapat dilihat nilai tingkat total keasaman pada masing-masing air rendaman, dimana air dari laboratorium sebagai standard dan selanjutnya air rob dari LIK mempunyai nilai total keasaman yang tinggi diikuti air rob jl. Mpu Tantular dan air Rob jl.Ronggowarsito. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *density* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 2,239 gr/cc menurun pada durasi perendaman 168 jam 2,204 gr/cc. Penurunan tersebut lebih besar dibandingkan pada kondisi *refusal density* dimana durasi perendaman 24 jam 2,322 gr/cc menurun pada durasi perendaman 24 jam 2,295 gr/cc. Sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, *density* pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 2,235 gr/cc menurun pada durasi perendaman 168 jam 2,184 gr/cc. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 2,313 gr/cc menurun pada durasi perendaman 168 jam 2,284 gr/cc. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *density* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75 dan 2x400) tumbukan nilai *density* pada keempat jenis air rendaman, masih lebih dari 2 gr/cc.

- b. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Void in Meneral Agreggate (VMA)* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

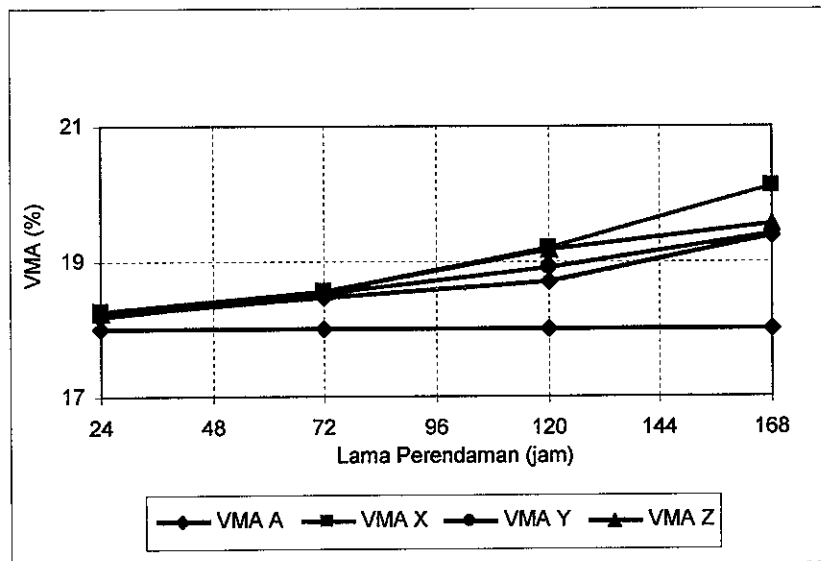
VMA adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Void in Meneral Agreggate (VMA)* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400) dilihat pada Tabel 4.27, dan Tabel 4.28. serta Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 berikut ini :

Tabel 4.27. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi standard (2x75)

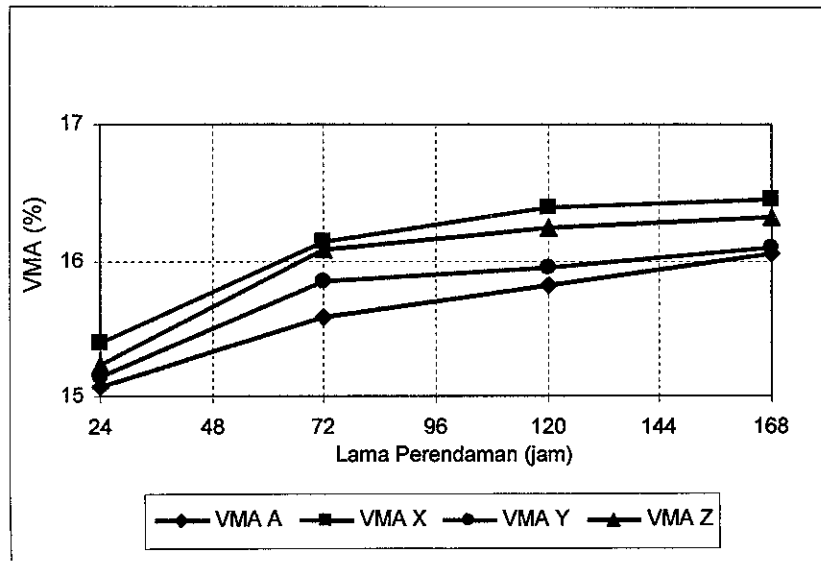
Total Keasaman (mg/l)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	Min.18	18,12	18,47	18,71	19,38
Y = 11,543	Min.18	18,19	18,54	18,90	19,41
Z = 29,197	Min.18	18,23	18,56	19,18	19,56
X = 56,357	Min.18	18,26	18,55	19,21	20,11

Tabel 4.28. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/l)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	-	15,08	15,59	15,83	16,06
Y = 11,543	-	15,15	15,86	15,95	16,10
Z = 29,197	-	15,24	16,09	16,25	16,33
X = 56,357	-	15,40	16,15	16,39	16,46



Gambar 4.12. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.13. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VMA* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.27, dan Tabel 4.28. serta Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VMA* pada kondisi *refusal density* lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, yang mengakibatkan *VMA refusal density* turun. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *VMA*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini menunjukkan bahwa rongga antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah (Cl^- mempengaruhi kohesi, dan $SO_4^{=}$ mempengaruhi adhesi terlalu tinggi), akibatnya terjadi *swelling* (mengembang), ini karena tingkat kadar total keasaman dari air terlalu tinggi, seperti sample X yang menunjukkan angka 37,2 mg/lit untuk Cl^- , angka 53 mg/lit untuk $SO_4^{=}$, angka 382,86 mg/lit untuk total *alkalinity* dan 56,357 mg/lit untuk total keasaman secara rinci lihat (Tabel 4.1.). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VMA* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 18,12 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 19,38 %. Kenaikan tersebut lebih besar dibandingkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 15,08 % yang naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 16,06 %.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, *VMA* pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 18,26 %

naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 20,11 %. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 15,40 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 16,46 %. Nilai *VMA* yang besar akan menjadikan campuran tidak stabil saat dibebani lalu lintas yang pada akhirnya akan mengakibatkan terjadi deformasi plastis, demikian sebaliknya apabila nilai *VMA* kecil akan menjadikan campuran lebih stabil dan tahan terhadap deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VMA* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan, nilai *VMA* pada keempat sampel diatas, masih berada > 18 %

- c. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Void Filled with Asphalt (VFA)* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

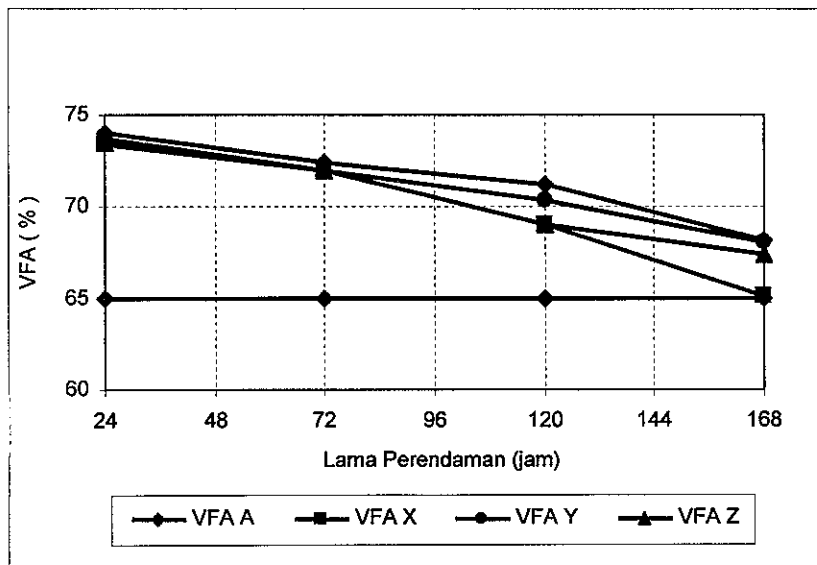
Nilai *VFA* menunjukkan prosentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai *VFA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFA* akan menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila *VFA* terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis menyebabkan campuran tidak awet. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400) dapat dilihat pada Tabel 4.29, dan Tabel 4.30. serta Gambar 4.14. dan Gambar 4.15. berikut ini :

Tabel 4.29. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi standard (2x75)

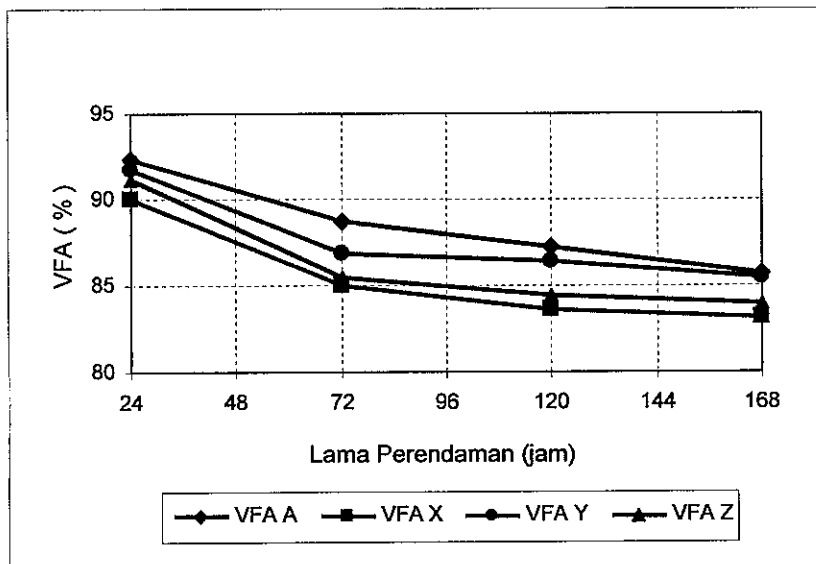
Total Keasaman (mg/lit)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	Min.65	74,02	72,37	71,22	68,20
Y = 11,543	Min.65	73,71	72,01	70,38	68,07
Z = 29,197	Min.65	73,51	71,92	69,06	67,39
X = 56,357	Min.65	73,40	71,95	68,98	65,10

Tabel 4.30. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/l)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	-	92,30	88,71	87,16	85,67
Y = 11,543	-	91,77	86,90	86,35	85,41
Z = 29,197	-	91,14	85,44	84,44	83,96
X = 56,357	-	90,02	85,03	83,59	83,14



Gambar 4.14. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.15. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VFA* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.29. dan Tabel 4.30. serta Gambar 4.14. dan Gambar 4.15. di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VFA* pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standard, ini disebabkan peningkatan energi pemadatan yang lebih tinggi sehingga aspal yang memasuki rongga rongga dalam campuran semakin banyak karena terjadi pemampatan, yang mengakibatkan *VFA refusal density* naik. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *VFA*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, menyebabkan aspal menjadi plastis, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah (Cl^- mempengaruhi kohesi, dan $SO_4^{=}$ mempengaruhi adhesi terlalu tinggi), akibatnya terjadi *swelling* (mengembang), sedangkan kadar aspalnya tetap maka *VFA* menjadi berkurang, ini karena tingkat kadar total keasaman dari air terlalu tinggi, seperti sample X yang menunjukkan angka 37,2 mg/lit untuk Cl^- , angka 53 mg/lit untuk $SO_4^{=}$, angka 382,20 mg/lit untuk total *alkalinity* dan 56,357 mg/lit untuk total keasaman secara rinci lihat (Tabel 4.1.). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VFA* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 74,02 % turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 68,20 %. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana *VFA* pada durasi perendaman 24 jam 92,30 % turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 85,67 %.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, *VFA* pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 73,40 % turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 65,10 %. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 90,02 % turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 83,14 %. Nilai *VFA* yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran akan lebih kedap air, sehingga tidak mudah teroksidasi yang pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran, demikian sebaliknya apabila nilai *VFA* kecil kekedapan campuran terhadap air akan berkurang sehingga mudah teroksidasi yang selanjutnya akan menurunkan durabilitas campuran serta akan mengakibatkan mudah terjadi deformasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VFA* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan, nilai *VFA* pada keempat sampel diatas, masih berada > 65 %

- d. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Void in the Mix (VIM)* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density (2x400)*.

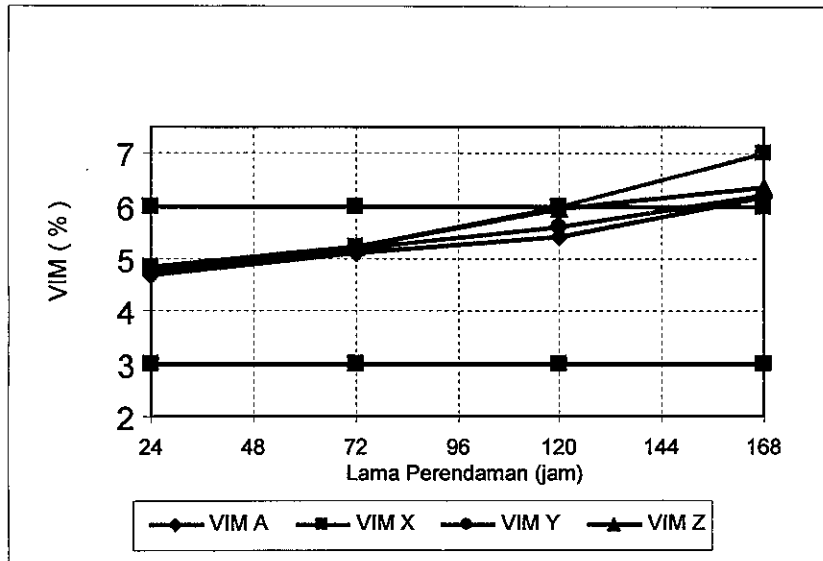
VIM dalam spesifikasi baru merupakan syarat paling penting, selain *VMA* dan *VFA* sebagai dasar dari perencanaan perhitungan pada tahap II (lama perendaman pada 2x75 dan 2x400 tumbukan pada kadar aspal optimum). *VIM* menyatakan banyaknya prosentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density (2x400)* dapat dilihat pada Tabel 4.31. dan Tabel 4.32. serta Gambar 4.16, Gambar 4.17. berikut ini :

Tabel 4.31. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi standard (2x75)

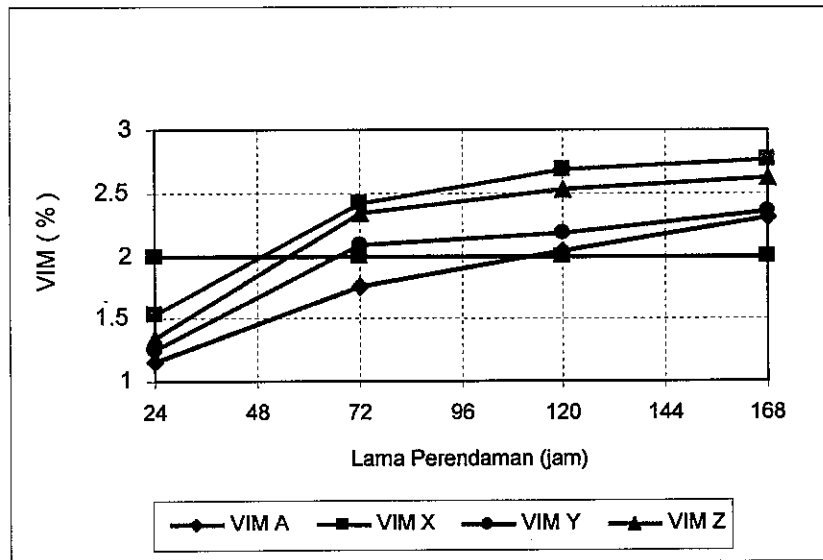
Total Keasaman (mg/lt)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>VIM</i> (%)			
A = 7,469	3 – 6	4,71	5,11	5,40	6,17
Y = 11,543	3 – 6	4,78	5,19	5,61	6,21
Z = 29,197	3 – 6	4,83	5,21	5,94	6,38
X = 56,357	3 – 6	4,86	5,21	5,97	7,02

Tabel 4.32. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai *VIM* pada kondisi *refusal density (2x400)*

Total Keasaman (mg/lt)	Syarat (%)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>VIM</i> (%)			
A = 7,469	Min 2	1,16	1,76	2,04	2,31
Y = 11,543	Min 2	1,25	2,08	2,18	2,35
Z = 29,197	Min 2	1,35	2,34	2,53	2,66
X = 56,357	Min 2	1,54	2,42	2,69	2,77



Gambar 4.16. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi standar (2x75)



Gambar 4.17. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *VIM* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.31. dan Tabel 4.32. serta Gambar 4.16, Gambar 4.17., di atas dapat dilihat bahwa Nilai *VIM* pada kondisi *refusal density* lebih rendah daripada kondisi standar, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi selanjutnya menurunkan nilai rongga dalam campuran, yang mengakibatkan *VIM refusal density* turun. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *VIM*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini menunjukkan bahwa rongga

antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat melemah (Cl^- mempengaruhi kohesi, dan $SO_4^{=}$ mempengaruhi adhesi terlalu tinggi), akibatnya terjadi *swelling* (mengembang), ini karena tingkat kadar total keasaman dari air terlalu tinggi, seperti sample X yang menunjukkan angka 37,2 mg/lit untuk Cl^- , angka 53 mg/lit untuk $SO_4^{=}$, angka 382,20 mg/lit untuk total *alkalinity* dan 56,357 mg/lit untuk total keasaman secara rinci lihat (Tabel 4.1.). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *VIM* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 4,71 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 6,17 %. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana *VIM* durasi perendaman 24 jam 1,16 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 2,31 %.

Pada sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, *VIM* pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 4,86 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 7,02%. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 1,54 % naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 2,77 %. Nilai *VIM* yang besar mengindikasikan campuran bersifat porous sehingga mudah terjadi oksidasi yang selanjutnya dapat menurunkan durabilitas, serta mudah mengalami deformasi plastis. Namun apabila nilai *VIM* terlalu kecil, juga tidak menguntungkan karena tidak menyediakan ruang yang cukup untuk menerima penambahan pemadatan akibat beban lalu lintas, sehingga pada akhirnya memungkinkan terjadinya *bleeding*. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *VIM* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan, nilai *VIM* pada keempat sampel diatas, hanya sampai 120 jam perendaman masih berada antara 3% - 6%, pada jam ke 168 sudah berada diatas persyaratan. Sedangkan pada kondisi (2x400) tumbukan nilai *VIM* pada perendaman 24 jam terlalu kecil < 2 %.

- e. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas. Stabilitas minimum Campuran *HRS-WC* yang disyaratkan adalah 800 kg, Lapis Lataston *HRS-WC* dengan stabilitas dibawah 800 kg akan mudah terjadi alur (*rutting*) bila dilalui

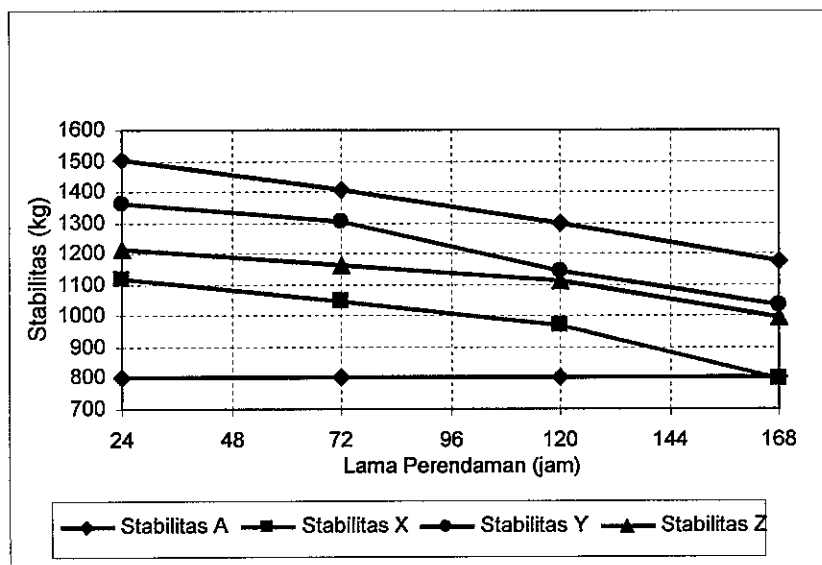
kendaraan berat. Pengaruh lama perendaman terhadap terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.33, dan Tabel 4.34. serta Gambar 4.18, dan Gambar 4.19 berikut ini :

Tabel 4.33. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Stabilitas kondisi standard (2x75)

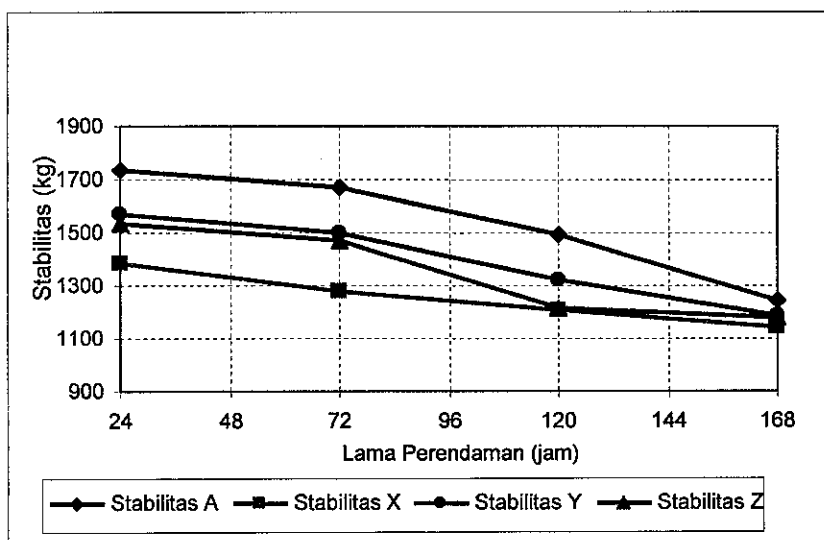
Total Keasaman (mg/lt)	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	Min. 800	1505	1405	1299	1173
Y = 11,543	Min. 800	1359	1303	1143	1032
Z = 29,197	Min. 800	1222	1165	1111	994
X = 56,357	Min. 800	1120	1044	970	796

Tabel 4.34. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/lt)	Syarat (kg)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
A = 7,469	-	1737	1672	1492	1240
Y = 11,543	-	1385	1276	1210	1144
Z = 29,197	-	1574	1503	1319	1188
X = 56,357	-	1534	1474	1213	1175



Gambar 4.18. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.19. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai Stabilitas pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.33, dan Tabel 4.34. serta Gambar 4.18, dan Gambar 4.19 di atas dapat dilihat bahwa Nilai Stabilitas pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standard, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pematat akan menyebabkan campuran menjadi lebih rapat dan mampat sehingga gesekan antar butiran (*internal friction*) meningkat begitu *interlocking* antar butiran juga semakin bertambah. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai Stabilitas, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat volume benda uji naik, sehingga kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Stabilitas sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standar durasi perendaman 24 jam 1505 kg turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 1173kg. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana stabilitas pada durasi perendaman 24 jam 1737 kg turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 1240 kg.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, stabilitas pada kondisi standar durasi perendaman 24 jam 1120kg turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 796 kg. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 1385 kg turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 1144 kg. Nilai Stabilitas adalah ukuran kemampuan dari

campuran untuk menahan deformasi plastis dari beban lalu lintas, semakin besar nilai stabilitas mengindikasikan bahwa campuran akan lebih kokoh dan lebih tahan terjadinya deformasi plastis dan akan lebih awet. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai stabilitas pada kadar aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan. dapat diterima oleh karena nilai stabilitas berada > 800 kg, kecuali sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya pada 168 jam perendaman dibawah persyaratan.

- f. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *flow* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas.

Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Spesifikasi lapis Lataston *HRS-WC* untuk *flow* yang disyaratkan > 2 mm. Nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi bahan susun, kadar aspal, viskositas aspal.

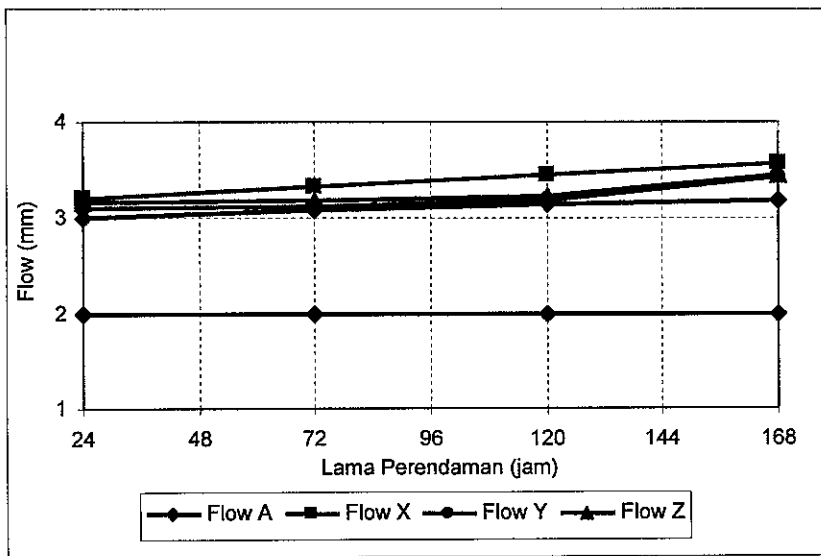
Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *flow* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.35, dan Tabel 4.36. serta Gambar 4.20, dan Gambar 4.21 berikut ini :

Tabel 4.35. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Flow* pada kondisi standard (2x75)

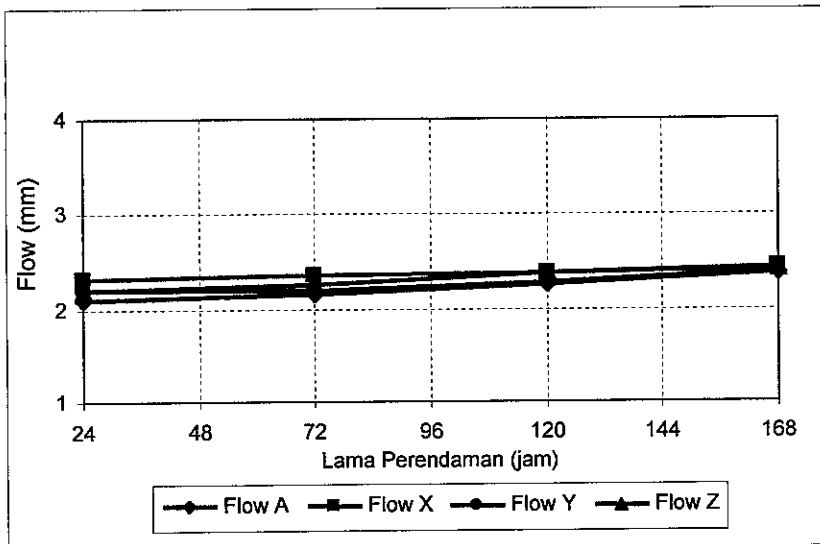
Total Keasaman (mg/lit)	Syarat (mm)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>Flow</i> (mm)			
A = 7,469	Min. 2	3,00	3,09	3,15	3,18
Y = 11,543	Min. 2	3,11	3,13	3,19	3,43
Z = 29,197	Min. 2	3,16	3,19	3,23	3,45
X = 56,357	Min. 2	3,21	3,33	3,46	3,58

Tabel 4.36. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Flow* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/lt)	Syarat (mm)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>Flow</i> (mm)			
A = 7,469	-	2,10	2,16	2,26	2,38
Y = 11,543	-	2,19	2,20	2,28	2,39
Z = 29,197	-	2,20	2,26	2,38	2,41
X = 56,357	-	2,31	2,35	2,38	2,44



Gambar 4.20. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *Flow* pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.21. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *Flow* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.35, dan Tabel 4.36. serta Gambar 4.20, dan Gambar 4.21, di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada kondisi *refusal density* lebih rendah daripada kondisi standard, ini disebabkan energi pemadatan yang lebih tinggi mengakibatkan rongga dalam campuran kecil, stabilitas tinggi, selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran yang pada akhirnya memperkecil nilai *flow pada refusal density*. Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai *flow*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *flow* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 3,00 mm naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 3,18 %. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 2,10 mm naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 2,38 mm.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, nilai *flow* pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 3,21 mm naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 3,58 mm . Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 2,31 mm naik pada durasi perendaman 168 jam menjadi 2,44 mm. Nilai *fow* dapat dihubungkan dengan nilai stabilitas, apabila nilai *flow* besar dan nilai stabilitas rendah, maka mengindikasikan bahwa campuran akan mudah mengalami deformasi plastis apabila menerima beban lalulintas yang tinggi dan berat. Nilai *flow* yang kecil dan stabilitas yang tinggi mengindikasikan meningkatnya tahanan geser campuran serta memperkecil pengaruh defomasi plastis. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *Flow* pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan pada keempat sampel diatas, masih berada > 2 mm.

- g. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *Marshall Quotient* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai *MQ* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta

nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.

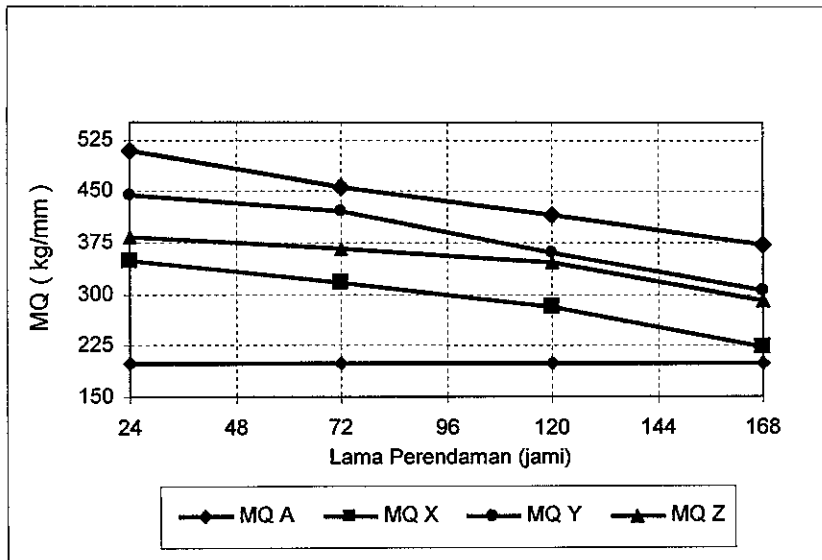
Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki nilai *MQ* tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *MQ* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.37, dan Tabel 4.38, serta Gambar 4.22, dan Gambar 4.23 berikut ini :

Tabel 4.37. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *MQ* kondisi standard (2x75)

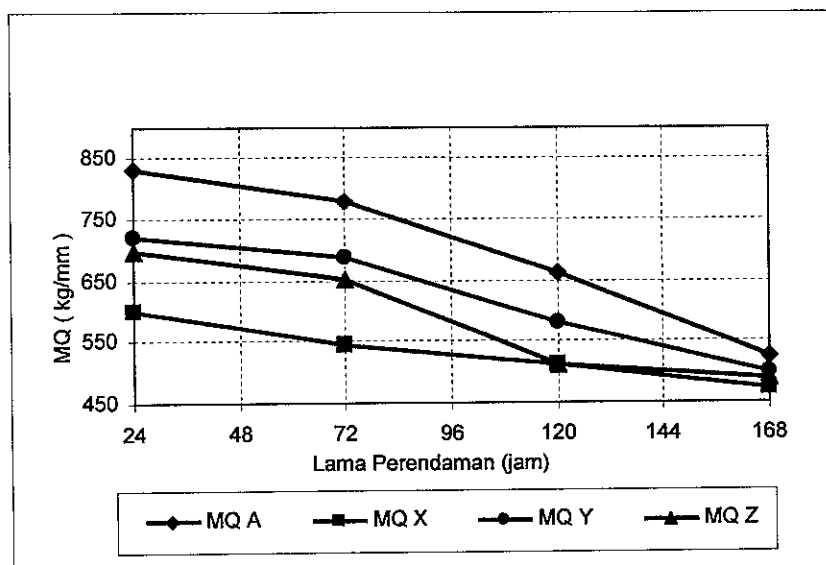
Total Keasaman (mg/l)	Syarat (kg/mm)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>MQ</i> (kg/mm)			
A = 7,469	Min. 200	508,7	458	416	371
Y = 11,543	Min. 200	445,6	421	361	305
Z = 29,197	Min. 200	384,2	366	345	290
X = 56,357	Min. 200	349,3	316	282	224

Tabel 4.38. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *MQ* pada *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/l)	Syarat (kg/mm)	Lama Perendaman (jam)			
		24	72	120	168
		Nilai <i>MQ</i> (kg/mm)			
A = 7,469	-	831	778	661	524
Y = 11,543	-	721	687	581	499
Z = 29,197	-	699	653	513	489
X = 56,357	-	599,9	545	512	473



Gambar 4.22. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai MQ pada kondisi standar (2×75)



Gambar 4.23. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai MQ pada kondisi *refusal density* (2×400)

Dari Tabel 4.37, dan Tabel 4.38, serta Gambar 4.22, dan Gambar 4.23, di atas dapat dilihat bahwa Nilai MQ pada kondisi *refusal density* lebih tinggi daripada kondisi standar, hal ini terjadi karena adanya peningkatan energi pematat akan menyebabkan kenaikan stabilitas dan menurunkan nilai *flow* serta meningkatkan kekakuan dari campuran. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai MQ , baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi)

campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan gesekan antar butiran menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MQ sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 508,7 kg/mm turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 371 kg/mm. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana durasi perendaman 24 jam 831 kg/mm turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 524 kg/mm.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, nilai MQ pada kondisi standard durasi perendaman 24 jam 349,3 kg/mm turun pada durasi perendaman 168 jam menjadi 224 kg/mm. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman 24 jam 599,9 kg/mm turun pada durasi perendaman 24 jam menjadi 473 kg/mm. Nilai MQ adalah ukuran untuk memprediksi sifat fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai MQ maka campuran akan semakin kaku dan tahan terhadap deformasi plastis, demikian pula sebaliknya campuran akan rentan terhadap terjadinya deformasi plastis apabila memiliki nilai MQ rendah. Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman terhadap nilai MQ pada kadar Aspal optimum dan kondisi (2x75) tumbukan pada keempat sampel diatas, masih berada $> 200\text{kg/mm}$.

- h. Pengaruh lama perendaman terhadap Durabilitas (IRS) pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Nilai Indeks Stabilitas Sisa (IRS) diperoleh dengan membandingkan antara nilai stabilitas pada kondisi standar yaitu direndam dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 (tigapuluh) menit dengan kondisi perendaman yang sama selama 24 jam, 72 jam, 120 jam, 168 jam, ini mengindikasikan pendekatan terhadap keawetan (durabilitas) dari suatu campuran beraspal panas. Spesifikasi baru untuk campuran $HRS-WC$, merekomendasikan bahwa indeks stabilitas sisa pada perendaman 24 jam pada suhu 60°C , harus lebih tinggi dari 80 %, sedangkan untuk lama perendaman diatas 24 jam, tidak ada standardnya.

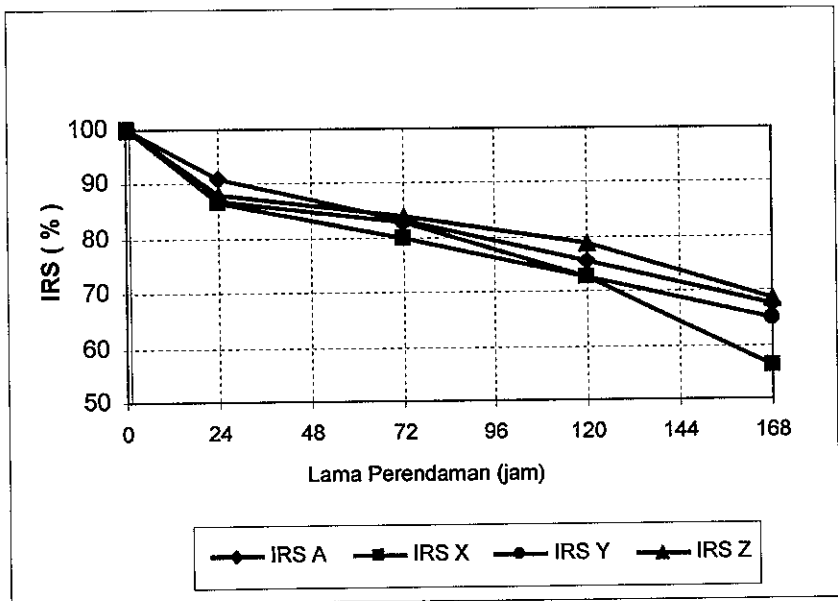
Pengaruh lama perendaman terhadap nilai IRS pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.39, dan Tabel 4.40, serta Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 diberikut ini :

Tabel 4.39. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *IRS* pada kondisi standard (2x75)

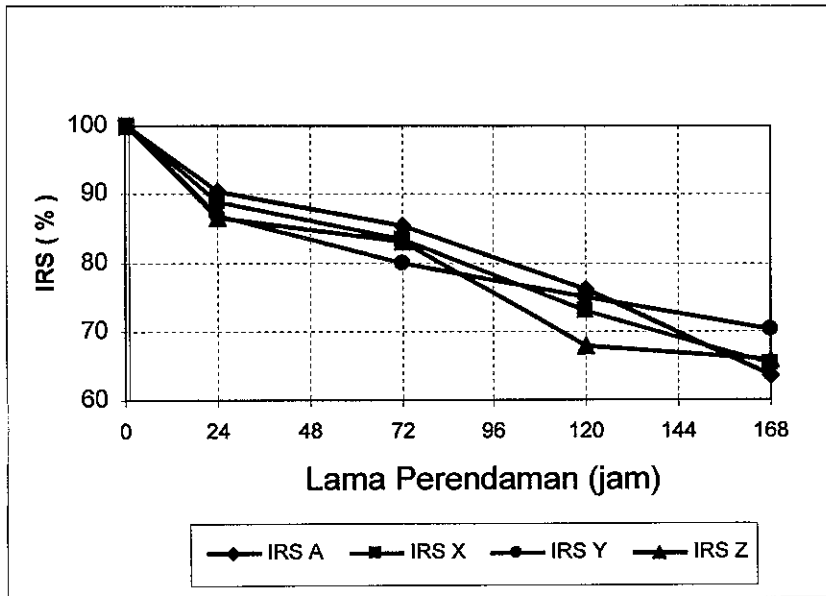
Total Keasaman (mg/lt)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai <i>IRS</i> (%)				
A = 7,469	100	90,87	83,13	75,71	67,34
Y = 11,543	100	86,99	82,86	72,47	64,83
Z = 29,197	100	88,05	83,86	78,74	68,74
X = 56,357	100	86,36	79,95	72,71	56,24

Tabel 4.40. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai *IRS* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/lt)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai <i>IRS</i> (%)				
A = 7,469	100	90,51	85,52	76,03	63,41
Y = 11,543	100	89,01	83,48	72,91	65,23
Z = 29,197	100	86,50	83,04	67,90	65,71
X = 56,357	100	86,78	79,77	74,98	70,20



Gambar 4.24. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *IRS* pada kondisi standard (2x75)



Gambar 4.25. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai *IRS* pada kondisi *refusal density* (2x400)

Dari Tabel 4.39, dan Tabel 4.40, serta Gambar 4.24, dan Gambar 4.25., di atas dapat dilihat Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai *IRS*, baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang yang berakibat penguncian dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi turun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *IRS* sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard durasi perendaman ½ jam 100 % turun pada durasi perendaman 168 jam, menjadi 67,34 %. Penurunan tersebut lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana *IRS* durasi perendaman ½ jam 100 % turun pada durasi perendaman 168 jam, menjadi 63,41 %.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, dibandingkan dengan air standarnya dari laboratorium, yaitu kadar Clorida 37,2 mg/lit > 36,31 mg/lit, kadar sulfat 53 mg/lit > 7 mg/lit, total Alkalinity 382,2 mg/lit > 170,154 mg/lit, dan total keasaman 56,357 mg/lit > 7,469 mg/lit. Hal ini mengindikasikan bahwa air rob dapat merusak campuran aspal panas, *IRS* pada kondisi standard durasi perendaman ½ jam 100 % turun pada durasi perendaman 168 jam, menjadi 56,24 %. Sedangkan pada kondisi *refusal density* durasi perendaman ½ jam 100 % turun pada durasi perendaman 168 jam, menjadi

70,20 %. Nilai *IRS* adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin kecil nilai *IRS* maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya ikatan aspal dan agregat akan berkurang yang pada akhirnya akan menurunkan nilai *IRS*.

4.2.4. Karakteristik Perendaman Modifikasi Campuran *HRS-WC* terhadap lama perendaman.

Pola pengembangan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi durabilitas suatu campuran, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan indeks durabilitas dan terdiri dari dua jenis, yaitu indeks durabilitas pertama dan indeks durabilitas kedua. Dalam metoda ini tidak ada batasan jumlah dan lama perendaman.

a. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks durabilitas pertama, dinotasikan dengan r (%), didefinisikan sebagai jumlah kemiringan dari setiap bagian yang berurutan dari kurva durabilitas. Nilai r positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, nilai negatif menyatakan penambahan kekuatan. Nilai mutlak dari kekuatan yang dibobotkan R (kg).

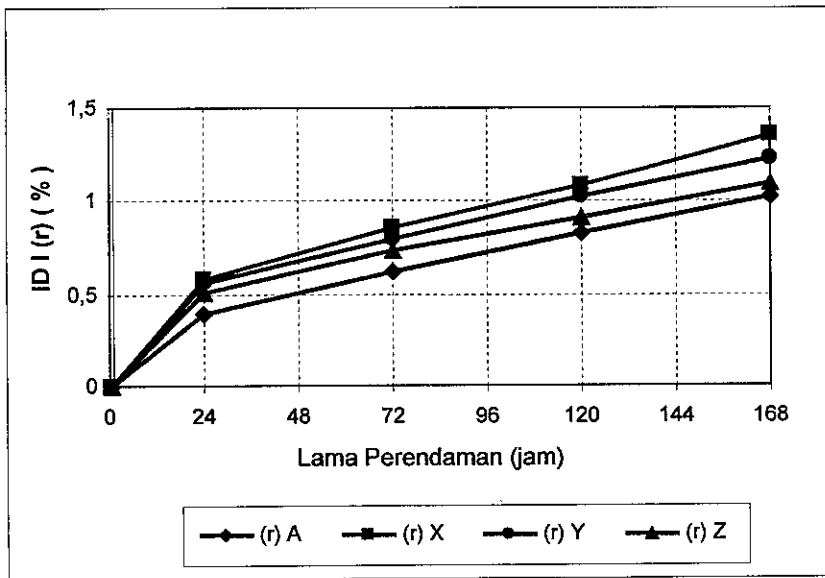
Pengaruh Indeks Durabilitas Pertama terhadap lama perendaman pada kondisi standard dan *Refusal Density*, dapat dilihat pada Tabel 4.41, sampai dengan Tabel 4.44 serta Gambar 4.26, sampai dengan Gambar 4.29. berikut ini:

Tabel 4.41. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai r pada kondisi standard (2x75)

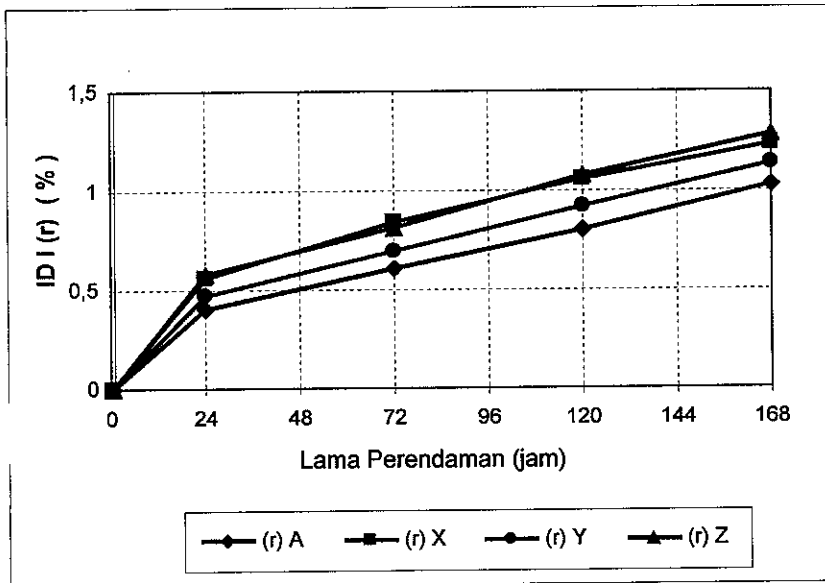
Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai r (%)				
A = 7,469	0	0,389	0,624	0,828	1,023
Y = 11,543	0	0,554	0,793	1,024	1,234
Z = 29,197	0	0,508	0,734	0,912	1,099
X = 56,357	0	0,581	0,861	1,089	1,351

Tabel 4.42. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai r pada kondisi *refusal density* (2x400)

Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai r (%)				
A = 7,469	0	0,404	0,606	0,807	1,025
Y = 11,543	0	0,468	0,699	0,925	1,133
Z = 29,197	0	0,574	0,811	1,080	1,285
X = 56,357	0	0,562	0,845	1,055	1,233



Gambar 4.26. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (r) pada kondisi standard (2 x 75)



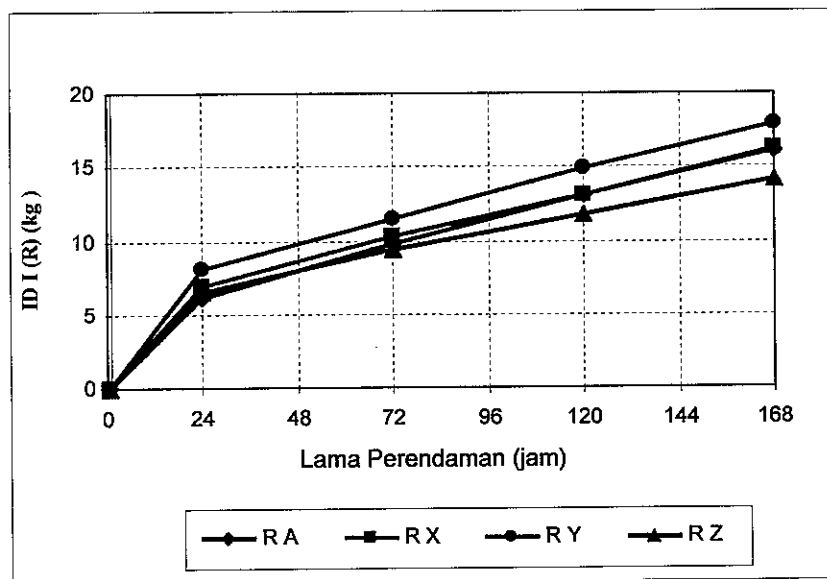
Gambar 4.27. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (r) pada kondisi *refusal density* (2 x 400)

Tabel 4.43. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai R pada kondisi standard (2 x 75)

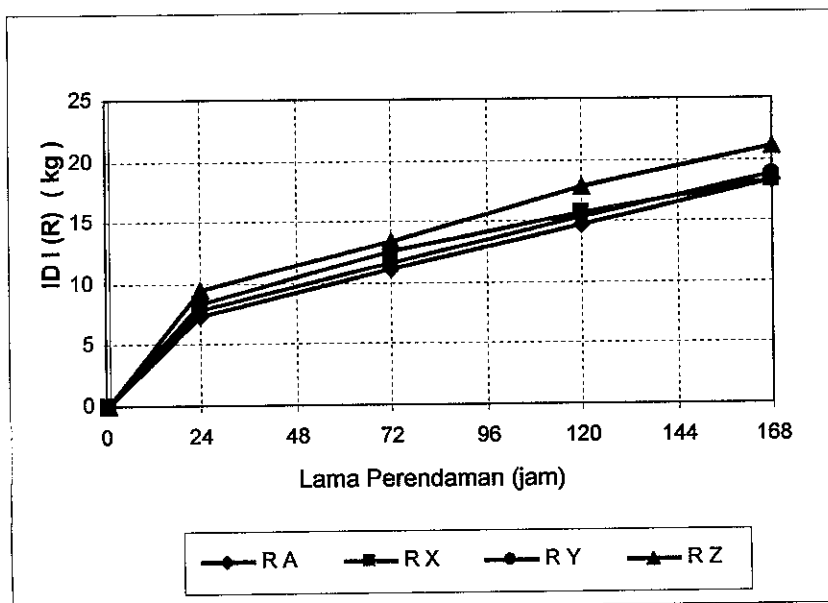
Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai R (kg)				
A = 7,469	0	6,128	9,848	13,053	16,128
Y = 11,543	0	8,043	11,525	14,872	17,923
Z = 29,197	0	6,553	9,462	11,755	14,161
X = 56,357	0	6,979	10,349	13,094	16,234

Tabel 4.44. Pengaruh hubungan lama perendaman terhadap nilai R pada kondisi *refusal density* (2 x 400)

Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai R (kg)				
A = 7,469	0	7,362	11,054	14,711	18,693
Y = 11,543	0	7,787	11,633	15,407	18,864
Z = 29,197	0	9,447	13,349	17,767	21,134
X = 56,357	0	8,340	12,536	15,641	18,280



Gambar 4.28. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (R) pada kondisi standard (2 x 75)



Gambar 4.29. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (R) pada kondisi *refusal density* (2 x 400)

Dari Tabel 4.41, dan Tabel 4.42. serta Gambar 4.26, dan Gambar 4.27 di atas dapat dilihat bahwa lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang, akibat tingginya total Alkalinity mencapai 382,2 mg/lit > 170,154 mg/lit, total Keasaman mencapai 56,mg/lit > 7,469 mg/lit dan pengaruh kadar sulfat (SO_4^-) pada air rob mencapai 67mg/lit > 7 mg/lit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas (r) untuk sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 0 % dan pada durasi perendaman 168 jam naik menjadi 1,023 %. Kenaikan tersebut hampir sama dengan kondisi *refusal density*, dimana dengan durasi perendaman ½ jam adalah 0 % dan pada durasi perendaman 168 jam naik menjadi 1,025 %.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, indeks penurunan stabilitas (r) pada kondisi standard dengan durasi perendaman ½ jam adalah 0 % dan pada durasi perendaman 168 jam naik menjadi 1,351 %. Sedangkan pada kondisi *refusal density* dengan durasi perendaman ½ jam adalah 0 % dan pada durasi perendaman 168 jam naik menjadi

1,233 %. Nilai indeks penurunan stabilitas adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran.

Dari Tabel 4.43, dan Tabel 4.44, serta Gambar 4.28, dan Gambar 4.29., di atas dapat dilihat bahwa lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai absolut kehilangan stabilitas (R), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai absolut stabilitas (R) sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standar dengan durasi perendaman ½ jam adalah 0 kg dan pada durasi perendaman 168 jam naik menjadi 16,128 kg. Kenaikan tersebut lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana dengan durasi perendaman ½ jam dari 0 kg naik menjadi 18,693 kg pada durasi perendaman 168 jam.

Untuk sampel yang direndam air rob jl. Mpu Tantular, nilai absolut stabilitas (R) pada kondisi standar dengan durasi perendaman ½ jam kg naik menjadi 14,161 kg pada durasi perendaman 168 jam. Sedangkan pada kondisi *refusal density* dengan durasi perendaman ½ jam 0 kg naik menjadi 21,134 kg pada durasi perendaman 168 jam. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

b. Indeks Durabilitas kedua

Indeks durabilitas kedua didefinisikan sebagai rerata luasan kehilangan kekuatan yang dibentuk antara kurva durabilitas dan garis $S_0 = 100\%$, indeks durabilitas kedua dinotasikan dengan a (%), dimana nilai positif menunjukkan adanya kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif berarti terdapat penambahan kekuatan. Nilai kekuatan sisa dari indeks durabilitas kedua (S_a , %), Nilai absolut ekivalen kehilangan kekuatan A (kg) dan nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A , kg).

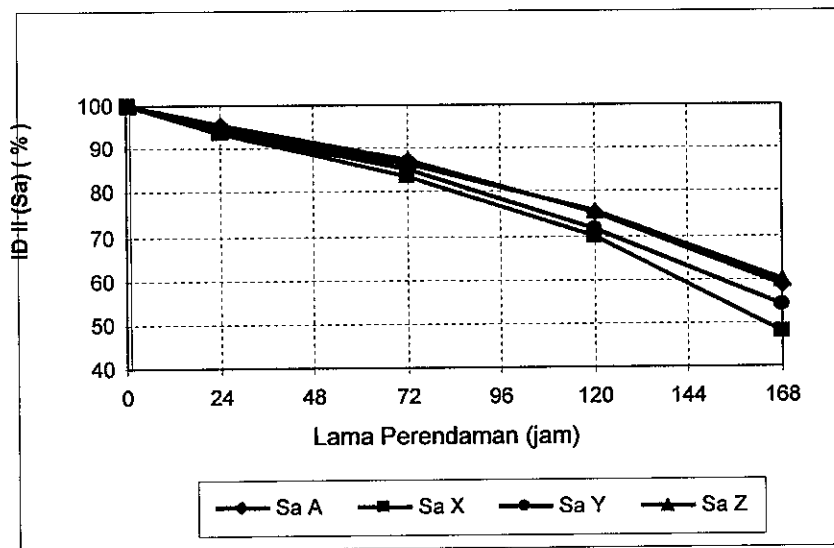
Pengaruh lama perendaman terhadap Indeks durabilitas kedua pada kondisi standar (2x75) dan *Refusal Density* (2x400), dapat dilihat pada Tabel 4.45 sampai dengan Tabel 4.48., serta Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.33., berikut ini :

Tabel 4.45. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Sa pada kondisi standard (2 x 75)

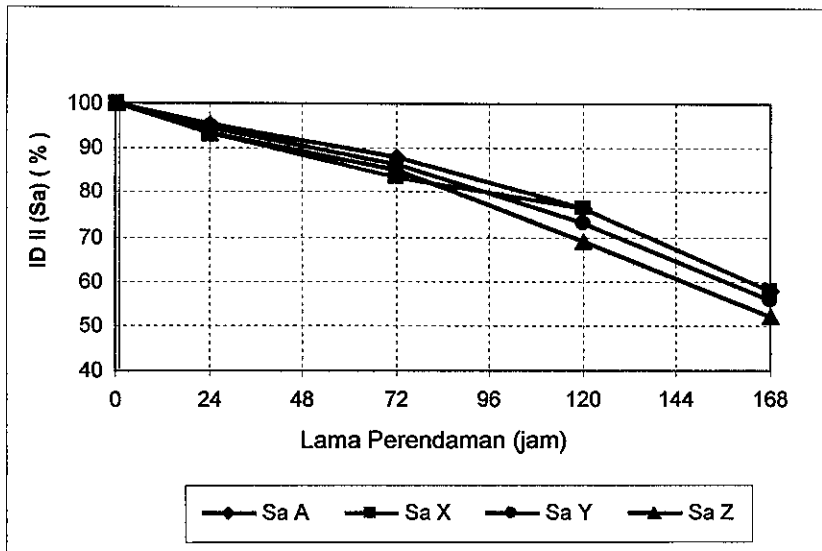
Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai Sa (%)				
A = 7,469	100	95,529	87,154	75,062	58,782
Y = 11,543	100	93,632	85,123	71,415	53,883
Z = 29,197	100	94,151	86,139	75,554	59,969
X = 56,357	100	93,320	83,365	69,778	47,963

Tabel 4.46. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Sa pada kondisi *refusal density* (2 x 400)

Total Keasaman (mg/l)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
	Nilai Sa (%)				
A = 7,469	100	95,354	88,163	76,228	57,988
Y = 11,543	100	94,619	86,418	72,931	55,595
Z = 29,197	100	93,393	84,972	68,990	51,898
X = 56,357	100	93,529	83,485	71,029	56,171



Gambar 4.30. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (Sa) pada kondisi standard (2 x 75)



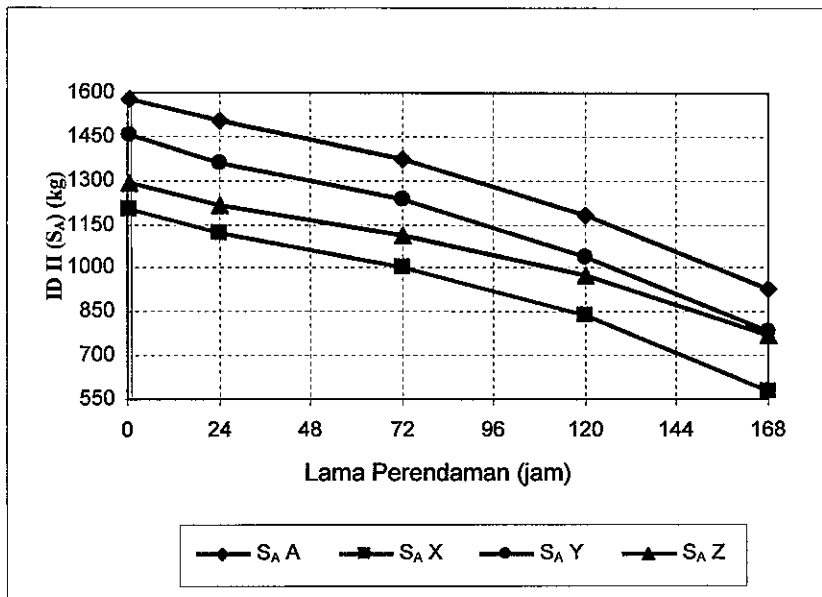
Gambar 4.31. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (Sa) pada kondisi standard (2 x 400)

Tabel 4.47. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai S_A pada kondisi standard (2 x 75)

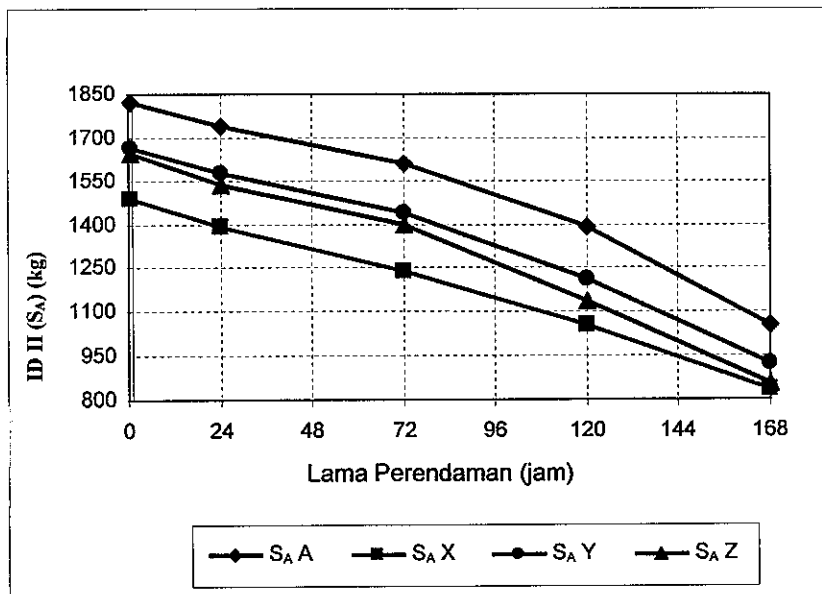
Total Keasaman (mg/lt)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
A = 7,469	1577	1506,5	1374,4	1183,7	927
Y = 11,543	1453	1360,5	1236,8	1037,7	782,9
Z = 29,197	1289	1213,6	1110,3	973,9	773
X = 56,357	1202	1121,7	1002	838,7	576,5

Tabel 4.48. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai S_A pada kondisi *refusal density* (2 x 400)

Total Keasaman (mg/lt)	Lama Perendaman (jam)				
	½ jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam
A = 7,469	1823	1738,3	1607,2	1389,6	1057,1
Y = 11,543	1665	1575,4	1438,9	1214,3	925,7
Z = 29,197	1645	1536,3	1397,8	1134,9	853,7
X = 56,357	1483	1387	1238,1	1053,4	833



Gambar 4.32. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (S_A) pada kondisi standar (2×75)



Gambar 4.33. Grafik hubungan lama perendaman terhadap nilai (S_A) pada Kadar Aspal optimum dan kondisi standar (2×400)

Dari Tabel 4.45, dan Tabel 4.46, serta Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 di atas dapat dilihat bahwa lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_A), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air rob yang mengandung kadar sulfat (SO_4^{2-}) serta tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman yang tinggi membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a) sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam yang 100 % turun menjadi 58,782 % pada lama perendaman 168 jam. Penurunan tersebut lebih besar dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam yang 100 % turun menjadi 57,988 % pada durasi perendaman 168 jam.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, indeks stabilitas sisa (S_a) pada kondisi standard dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam 100 % turun menjadi 47,963 % pada lama perendaman 168 jam. Sedangkan pada kondisi *refusal density* stabilitas sisa (S_a) sampel X (air rob LIK) dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam yang 100 % turun menjadi 56,171 % pada lama perendaman 168 jam. Nilai indeks stabilitas sisa (S_a) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks stabilitas sisa (S_a) mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

Dari Tabel 4.47. dan Tabel 4.48. serta Gambar 4.32. dan Gambar 4.33. di atas dapat dilihat bahwa lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan (kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A) sampel yang terendam air dari laboratorium pada kondisi standard dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1577 kg turun menjadi 927 kg pada lama perendaman 168 jam. Penurunan tersebut lebih besar dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam adalah 1823 kg turun menjadi 1057 kg pada lama perendaman 168 jam. Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, pada kondisi standard dengan lama perendaman $\frac{1}{2}$ jam yang 1202 kg turun menjadi 576,5 kg pada durasi perendaman 168 jam. Sedangkan pada kondisi *refusal density* dengan durasi perendaman $\frac{1}{2}$ jam yang 1483 kg turun menjadi 833 kg pada lama perendaman 168 jam. Semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahanan (S_A) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

4.2.5 Evaluasi Hasil laboratorium uji *Marshall*, *IRS* dan Perendaman *Modifikasi Tahap II* terhadap pengaruh Lama Perendaman.

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran *HRS-WC* didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi pada tahap II terhadap pengaruh perendaman air laut pasang (rob) adalah sebagai berikut ini :

Tabel 4.49. Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air laboratorium (Total Keasaman 7,469 mg/l) terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman *Modifikasi* pada kondisi standard (2x75) dan *Refusal Density* (2x400).

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan					
		24 jam	72jam	120jam	168jam	24 jam	72jam	120jam	168jam		
Kepadatan (gr/cc)	-	2,239	2,229	2,222	2,204	2,322	2,308	2,301	2,295		
<i>VMA</i> (%)	> 18 %	18,12	18,47	18,71	19,38	15,08	15,59	15,83	16,06		
<i>VFA</i> (%)	> 65 %	74,02	72,37	71,22	68,20	92,30	88,71	87,16	85,67		
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 % - 6 %	4,71	5,11	5,40	6,17	1,16	1,76	2,04	2,31		
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2 %										
Stabilitas (kg)	> 800 kg	1505	1405	1299	1173	1737	1672	1492	1240		
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm	3,00	3,09	3,15	3,18	2,10	2,16	2,26	2,38		
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm	508,7	458	416	371	831	778	661	524		
Karakteristik Perendaman <i>Modifikasi</i>		(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
	½ jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	½ hari	24 jam	72jam	120jam	168jam	
<i>IRS</i> standard (%)	100	90,87	83,13	75,71	67,34	100	90,51	85,52	76,03	63,41	
ID I (r, %)	0	0,389	0,624	0,828	1,023	0	0,404	0,606	0,807	1,025	
ID I (R, kg)	0	6,128	9,848	13,053	16,128	0	7,362	11,054	14,711	18,693	
ID II (Sa, %)	100	95,529	87,154	75,062	58,782	100	95,354	88,163	76,228	57,988	
ID II (SA, kg)	1577	1506,5	1374,4	1183,7	927	1823	1738,3	1607,2	1389,6	1057,1	

Tabel 4.50. Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob LIK (Total Keasaman 56,357 mg/lit) terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standar (2 x 75) dan *Refusal Density* (2 x 400)

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan				
		24 jam	72jam	120jam	168jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	
Kepadatan (gr/cc)	-	2,235	2,227	2,209	2,184	2,313	2,292	2,286	2,284	
<i>VMA</i> (%)	> 18 % -	18,26	18,55	19,21	20,11	15,40	16,15	16,39	16,46	
<i>VFA</i> (%)	> 65 % -	73,40	71,95	68,98	65,10	90,02	85,03	83,59	83,14	
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 % - 6 %	4,86	5,21	5,97	7,02					
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2 %					1,54	2,42	2,69	2,77	
Stabilitas (kg)	> 800 kg -	1120	1044	970	796	1385	1276	1210	1144	
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm -	3,21	3,33	3,46	3,58	2,31	2,35	2,38	2,44	
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm -	349,3	316	282	224	599,9	545	512	473	
Karakteristik Perendaman Modifikasi	(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
	½ jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	½ hari	24 jam	72jam	120jam	168jam
<i>IRS</i> standard (%)	100	86,36	79,95	72,71	56,24	100	86,78	79,77	74,98	70,20
ID I (r, %)	0	0,581	0,861	1,089	1,351	0	0,562	0,845	1,055	1,233
ID I (R, kg)	0	6,979	10,349	13,094	16,234	0	8,340	12,536	15,641	18,280
ID II (Sa, %)	100	93,320	83,365	69,778	47,963	100	93,529	83,485	71,029	56,171
ID II (SA, kg)	1202	1121,7	1002	838,7	576,5	1483	1387	1238,1	1053,4	833

Tabel 4.51. Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob jl. Ronggo-warsito (Total Keasaman 11,543 mg/lit) terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada pada kondisi standard (2 x 75) dan *Refusal Density* (2 x 400)

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan				
		24 jam	72jam	120jam	168jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	
Kepadatan (gr/cc)	-	2,237	2,227	2,217	2,203	2,320	2,300	2,298	2,294	
<i>VMA</i> (%)	> 18 % -	18,19	18,54	18,90	19,41	15,15	15,86	15,95	16,10	
<i>VFA</i> (%)	> 65 % -	73,71	72,01	70,38	68,07	91,77	86,90	86,35	85,41	
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 % - 6 %	4,78	5,19	5,61	6,21					
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2 %					1,25	2,08	2,18	2,35	
Stabilitas (kg)	> 800 kg -	1359	1303	1143	1032	1574	1503	1319	1188	
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm -	3,11	3,13	3,19	3,43	2,19	2,20	2,28	2,39	
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm -	445,6	421	361	305	721	687	581	499	
Karakteristik Perendaman Modifikasi	(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
	½ jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	½ hari	24 jam	72jam	120jam	168jam
<i>IRS</i> standard (%)	100	86,99	82,86	72,47	64,83	100	89,01	83,48	72,91	65,23
ID I (r, %)	0	0,554	0,793	1,024	1,234	0	0,468	0,699	0,925	1,133
ID I (R, kg)	0	8,043	11,525	14,872	17,923	0	7,787	11,633	15,407	18,864
ID II (Sa, %)	100	93,632	85,123	71,415	53,883	100	94,619	86,418	72,931	55,595
ID II (SA, kg)	1453	1360,5	1236,8	1037,7	782,9	1665	1575,4	1438,9	1214,3	925,7

Tabel 4.52. Pengaruh Lama Perendaman menggunakan air rob jl. Mpu-Tantular (Total Keasaman 29,197 mg/lit) terhadap karakteristik *Marshall* dan Perendaman Modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) dan *Refusal Density* (2 x 400)

Karakteristik <i>Marshall</i>	Spesifikasi	(2x75) tumbukan				(2x400) tumbukan				
		24 jam	72jam	120jam	168jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	
Kepadatan (gr/cc)	-	2,236	2,227	2,210	2,199	2,318	2,294	2,290	2,288	
<i>VMA</i> (%)	> 18 %	18,23	18,56	19,18	19,56	15,24	16,09	16,25	16,33	
<i>VFA</i> (%)	> 65 %	73,51	71,92	69,06	67,39	91,14	85,44	84,44	83,96	
<i>VIM</i> _{2x75} (%)	3 % - 6 %	4,83	5,21	5,94	6,38	1,35	2,34	2,53	2,66	
<i>VIM</i> _{2x400} (%)	> 2 %									
Stabilitas (kg)	> 800 kg	1222	1165	1111	994	1534	1474	1213	1175	
<i>Flow</i> (mm)	> 2 mm	3,16	3,19	3,23	3,45	2,20	2,26	2,38	2,41	
<i>MQ</i> (kg/mm)	>200 kg/mm	384,2	366	345	290	699	653	513	489	
Karakteristik Perendaman Modifikasi	(2x75) tumbukan					(2x400) tumbukan				
	½ jam	24 jam	72jam	120jam	168jam	½ hari	24 jam	72jam	120jam	168jam
<i>IRS</i> standard (%)	100	88,05	83,86	78,74	68,74	100	86,50	83,04	67,90	65,71
ID I (r, %)	0	0,508	0,734	0,912	1,099	0	0,574	0,811	1,080	1,285
ID I (R, kg)	0	6,553	9,462	11,755	14,161	0	9,447	13,349	17,767	21,134
ID II (Sa, %)	100	94,151	86,139	75,554	59,969	100	93,393	84,972	68,990	51,898
ID II (SA, kg)	1289	1213,6	1110,3	973,9	773	1645	1536,3	1397,8	1134,9	853,7

Dari hasil evaluasi pengujian diatas terlihat bahwa semua karakteristik *Marshall* standard terhadap lama perendaman, untuk hasil analisa void (*VMA*, *VFA* dan *VIM*) memenuhi persyaratan sesuai dengan spesifikasi pada tingkat kepadatan standar (2x75) tumbukan, sedangkan pada kepadatan membal / *refusal density* (2x400) tumbukan, nilai *VIM* untuk sampel yang direndam air laboratorium pada perendaman 24 jam dan 72 jam tidak memenuhi persyaratan, demikian pula untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, sampel yang direndam air Rob jl.Ronggowarsito dan sampel yang direndam air rob jl. Mpu Tantular pada perendaman 24 jam tidak memenuhi peryaratan. Ini memperlihatkan keputusan memilih kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 7% sampai 7,5% kurang tepat, seharusnya memilih kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 7% sampai 7,25%.

Nilai pengujian stabilitas saat pemadatan pada kondisi standard pada keempat nilai Total Keasaman terhadap lama perendaman memenuhi peryaratan hanya pada sampel yang direndam air rob dari LIK selama 168 jam tidak memenuhi persyaratan (< 800 kg.), ini disebabkan semakin lama campuran terendam air rob yang mengandung kadar sulfat (SO_4^-) serta tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman yang tinggi membuat kerapatan

(kohesi maupun adhesi) campuran menjadi berkurang. sedangkan pada kondisi *refusal density* semua memenuhi persyaratan, diatas nilai Stabilitas spesifikasi (> 800 kg).

Nilai pengujian *flow* pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* untuk keempat sampel terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *flow* > 2 mm.

Nilai pengujian *MQ* pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* untuk keempat sampel terhadap lama perendaman masih memenuhi persyaratan, berada di atas nilai *MQ* > 200 kg/mm.

Nilai Indeks Stabilitas Sisa standard (*IRS*) pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* untuk keempat sampel terhadap lama perendaman yang memenuhi persyaratan hanya sampai pada lama perendaman 72 jam, untuk lama 120 jam dan 168 jam tidak memenuhi persyaratan, ini disebabkan kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah akibat tingginya kadar sulfat (SO_4^{2-}), tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman. Persyaratan untuk nilai *IRS* > 80 %, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipresentasikan pada (2x400) tumbukan hanya sampai 72 jam perendaman yang dapat diterima.

Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman Modifikasi terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sebagai berikut :

a. Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air, membuat kerapatan campuran menjadi berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks penurunan stabilitas (r dan R) sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard dengan lama perendaman ½ jam yang 0 % naik menjadi 1,023 % untuk r dan 16,128 kg untuk R pada lama perendaman 168 jam. Nilai ini lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana pada lama perendaman 168 jam naik menjadi 1,025 % dan 18,693 kg. Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, yang paling tinggi kandungan total keasamanannya, indeks penurunan stabilitas (r dan R) pada kondisi standard dengan lama perendaman ½ jam yang 0 % naik menjadi 1,351 % untuk r dan 16,234 kg untuk R pada lama perendaman 168 jam. Sedangkan pada

kondisi *refusal density* naik pada lama perendaman 168 jam menjadi 1,233 % untuk r dan 18,280 kg untuk R. Nilai indeks penurunan stabilitas adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks penurunan stabilitas (r dan R) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous, akibat tingginya kadar sulfat (SO_4^{--}), tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman. Sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

b. Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_a), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air membuat kerapatan campuran menjadi berkurang, akibat tingginya kadar sulfat (SO_4^{--}), tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indeks stabilitas sisa (S_a / S_A) sampel yang direndam air dari laboratorium pada kondisi standard dengan lama perendaman ½ jam yang 100 % (1577 kg) turun menjadi 58,782 % (927 kg) pada lama perendaman 168 jam. Penurunan ini lebih kecil dibandingkan pada kondisi *refusal density*, dimana pada lama perendaman ½ jam yang 100 % (1823 kg) turun menjadi 57,988 % (1057 kg) pada lama perendaman 168 jam.

Untuk sampel yang direndam air rob dari LIK, indeks stabilitas sisa (S_a / S_A) pada kondisi standard dengan lama perendaman ½ jam yang 100 % (1202 kg) turun menjadi 47,963 % (576,5 kg) pada lama perendaman 168 jam. Sedangkan pada kondisi *refusal density* stabilitas sisa (S_a / S_A) sampel yang direndam air rob dari LIK dengan durasi perendaman ½ jam adalah 100 % (1483 kg) turun menjadi 56,171 % (833 kg) pada durasi perendaman 168 jam. Nilai indeks stabilitas sisa (S_a) adalah ukuran untuk memprediksi sifat keawetan (durabilitas) campuran. Semakin besar nilai indeks stabilitas sisa (S_a) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat. Sedangkan semakin kecil nilai absolut ekivalen kuat tahan (S_A) maka mengindikasikan bahwa campuran bersifat porous sehingga air mudah masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan aspal dan agregat.

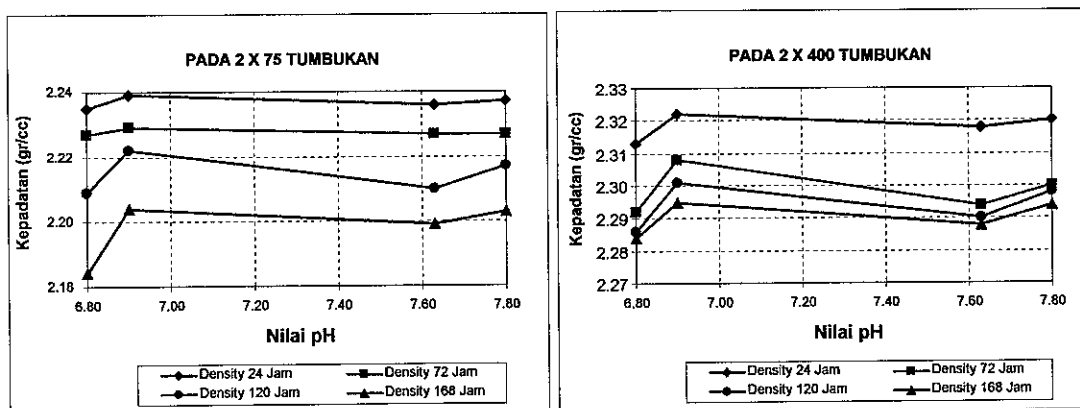
4.2.6. Evaluasi Kualitas/ Unsur Kimiawi Air Rob terhadap Karakteristik Marshall dan Perendaman Modifikasi.

a. Pengaruh Nilai pH :

1. Terhadap kepadatan (gr/cc)

Tabel 4.53. Hubungan antara Nilai pH terhadap Kepadatan (gr/cc)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	2.235	2.227	2.209	2.184	2.313	2.292	2.286	2.284	56.357
6.90	2.239	2.229	2.222	2.204	2.322	2.308	2.301	2.295	7.469
7.63	2.236	2.227	2.210	2.199	2.318	2.294	2.290	2.288	29.197
7.80	2.237	2.227	2.217	2.203	2.320	2.300	2.298	2.294	11.543



Gambar 4.34. Grafik hubungan nilai pH dengan kepadatan (gr/cc)

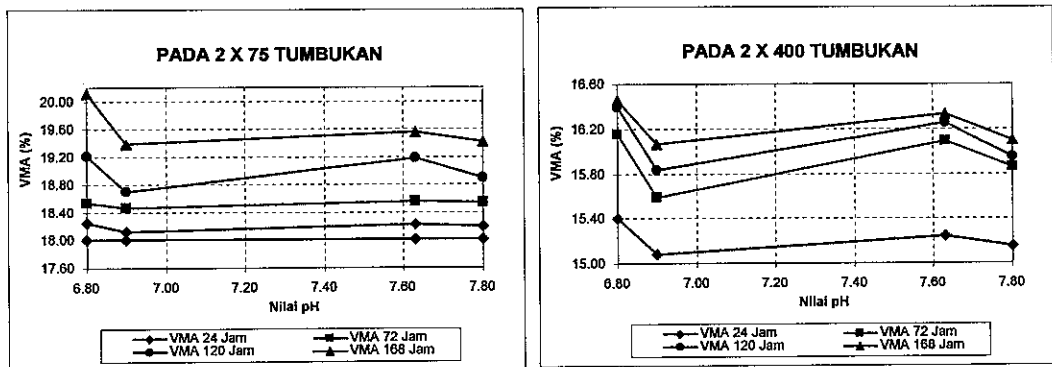
Berdasarkan Tabel 4.53 dan Gambar 4.34 nilai kepadatan tertinggi tercapai pada kondisi air rendaman yang netral (pH mendekati 7). Semakin asam (nilai pH semakin kecil) kepadatan menurun drastis dan untuk air rendaman yang bersifat basa penurunan kepadatan relatif kecil.

2. Terhadap nilai *VMA* (%)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin asam (nilai pH semakin kecil) air rob yang merendam campuran *HRS-WC* nilai *VMA* semakin besar. Nilai *VMA* optimum terjadi pada air rendaman yang netral (pH mendekati 7) baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400), seperti terlihat pada Tabel 4.54 dan Gambar 4.35.

Tabel 4.54. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai *VMA* (%)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	18.26	18.55	19.21	20.11	15.4	16.15	16.39	16.46	56.357
6.90	18.12	18.47	18.71	19.38	15.08	15.59	15.83	16.06	7.469
7.63	18.23	18.56	19.18	19.56	15.24	16.09	16.25	16.33	29.197
7.80	18.19	18.54	18.90	19.41	15.15	15.86	15.95	16.10	11.543



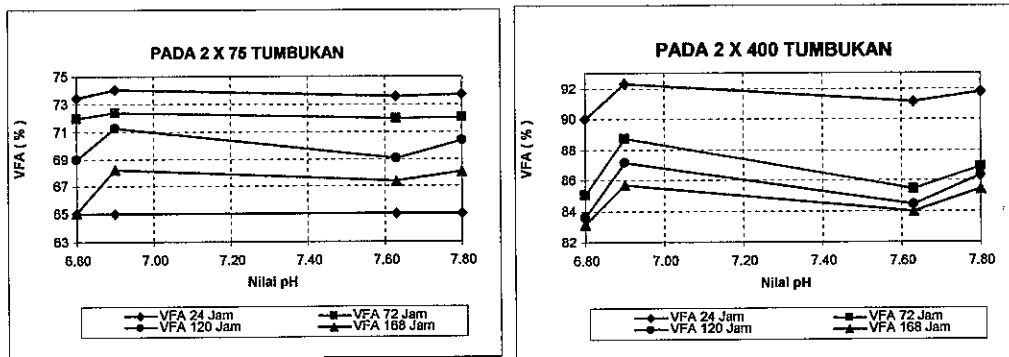
Gambar 4.35. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai *VMA* (%)

3. Terhadap nilai *VFA* (%)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin asam (nilai pH semakin kecil) air rob yang merendam campuran *HRS-WC* nilai *VFA* semakin kecil. Nilai *VFA* optimum terjadi pada air rendaman yang netral (pH mendekati 7) baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400), seperti terlihat pada Tabel 4.55 dan Gambar 4.36.

Tabel 4.55. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai *VFA* (%)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	73.40	71.95	68.98	65.10	90.02	85.03	83.59	83.14	56.357
6.90	74.02	72.37	71.22	68.20	92.30	88.71	87.16	85.67	7.469
7.63	73.51	71.92	69.06	67.39	91.14	85.44	84.44	83.96	29.197
7.80	73.71	72.01	70.38	68.07	91.77	86.90	86.35	85.41	11.543

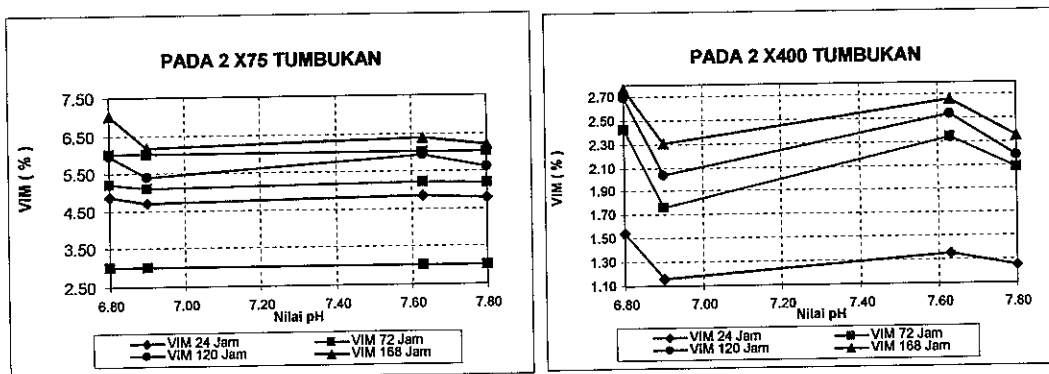


Gambar 4.36. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai *VFA* (%)

4. Terhadap nilai *VIM* (%)

Tabel 4.56. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai *VIM* (%)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	4.86	5.21	5.97	7.02	1.54	2.42	2.69	2.77	56.357
6.90	4.71	5.11	5.40	6.17	1.16	1.76	2.04	2.31	7.469
7.63	4.83	5.21	5.94	6.38	1.35	2.34	2.53	2.66	29.197
7.80	4.78	5.19	5.61	6.21	1.25	2.08	2.18	2.35	11.543



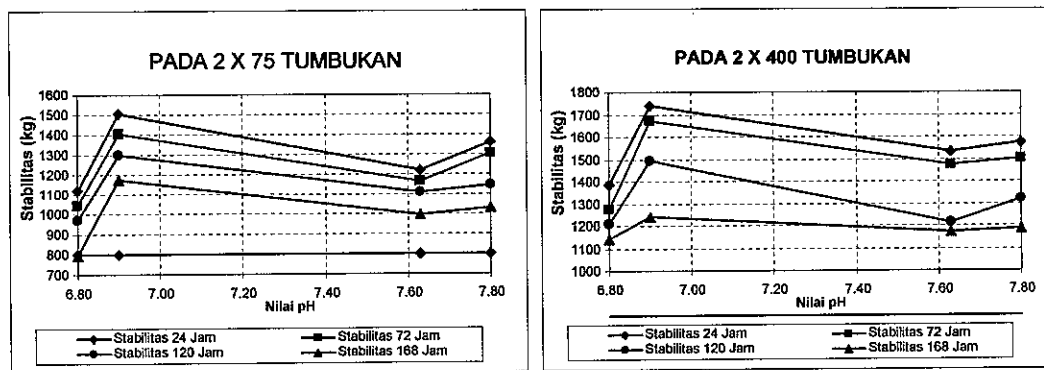
Gambar 4.37. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai *VIM* (%)

Berdasarkan Tabel 4.56. dan Gambar 4.37. nilai *VIM* terendah tercapai pada kondisi air rendaman yang netral (pH mendekati 7). Untuk kondisi standar (2x75) nilai pH di bawah kondisi netral nilai *VIM* naik drastis, dan untuk air rendaman yang bersifat basa kenaikan nilai *VIM* relatif kecil. Sedang untuk *refusal density* kondisi basa *VIM* naik sampai pH 7,63 kemudian turun lagi.

5. Terhadap nilai stabilitas (kg)

Tabel 4.57. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Stabilitas (kg)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	1120	1044	970	796	1385	1276	1210	1144	56.357
6.90	1505	1405	1299	1173	1737	1672	1492	1240	7.469
7.63	1222	1165	1111	994	1534	1474	1213	1175	29.197
7.80	1359	1303	1143	1032	1574	1503	1319	1188	11.543



Gambar 4.38. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai Stabilitas (kg)

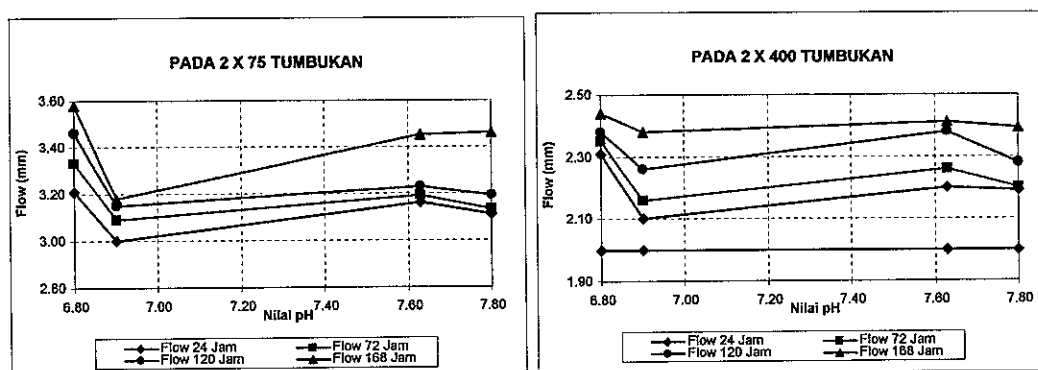
Berdasarkan Tabel 4.57. dan Gambar 4.38., secara umum dapat dikatakan bahwa nilai keasaman (nilai pH semakin kecil) air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai stabilitas, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Nilai stabilitas tertinggi terjadi pada air rendaman yang mendekati netral (pH = 7)

6. Terhadap nilai *Flow* (mm)

Secara umum dapat dikatakan bahwa nilai keasaman (nilai pH semakin kecil) air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menaikkan nilai *flow*, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400), seperti terlihat pada Tabel 4.58. dan Gambar 4.39. Nilai *flow* optimum terjadi pada air rendaman yang mendekati netral (pH = 7)

Tabel 4.58. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai *Flow* (mm)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	3.21	3.33	3.46	3.58	2.31	2.35	2.38	2.44	56.357
6.90	3.00	3.09	3.15	3.18	2.10	2.16	2.26	2.38	7.469
7.63	3.16	3.19	3.23	3.45	2.20	2.26	2.38	2.41	29.197
7.80	3.11	3.13	3.19	3.46	2.19	2.20	2.28	2.39	11.543

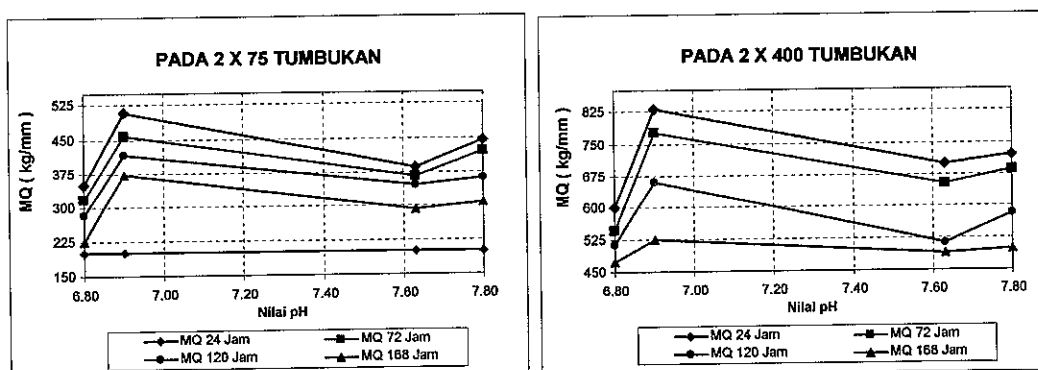


Gambar 4.39. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai *Flow* (mm)

7. Terhadap nilai *MQ* (kg/mm)

Tabel 4.59. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai *MQ* (kg/mm)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	349.3	316.0	282.0	224.0	599.9	545.0	512.0	473.0	56.357
6.90	508.7	458.0	416.0	371.0	831.0	778.0	661.0	524.0	7.469
7.63	384.2	366.0	345.0	290.0	699.0	653.0	513.0	489.0	29.197
7.80	445.6	421.0	361.0	305.0	721.0	687.0	581.0	499.0	11.543



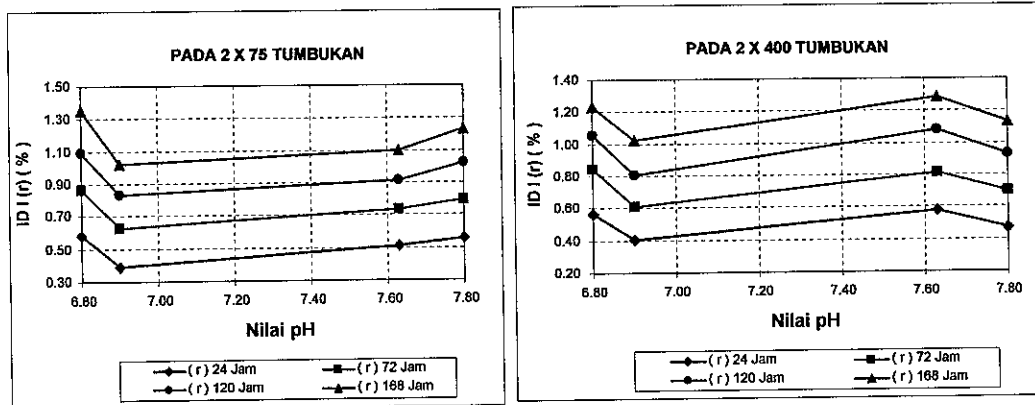
Gambar 4.40. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai *MQ* (kg/mm)

Berdasarkan Tabel 4.59 dan Gambar 4.40., dapat dilihat bahwa air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dengan nilai pH lebih kecil dari kondisi netral (pH mendekati 7) nilai *MQ* akan turun drastis, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Sedang pada kondisi basa nilai *MQ* sedikit turun, yang akan membesar lagi setelah nilai pH lebih dari 7,63

8. Terhadap nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

Tabel 4.60. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	0.581	0.861	1.089	1.351	0.562	0.845	1.055	1.233	56.357
6.90	0.389	0.624	0.828	1.023	0.404	0.606	0.807	1.025	7.469
7.63	0.508	0.734	0.912	1.099	0.574	0.811	1.080	1.285	29.197
7.80	0.554	0.793	1.024	1.234	0.468	0.699	0.925	1.133	11.543



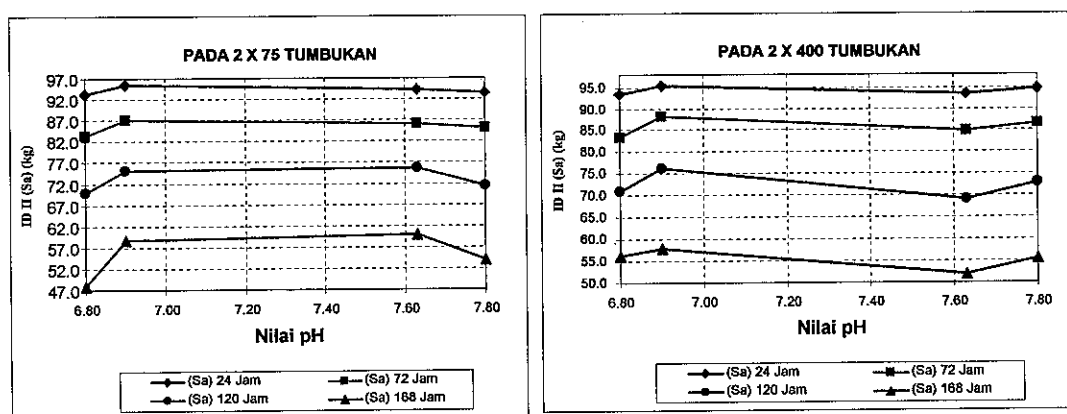
Gambar 4.41. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai Nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

Berdasarkan Tabel 4.60 dan Gambar 4.41., dapat dikatakan bahwa pada kondisi standar (2x75) nilai pH air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dibawah netral (pH mendekati 7) nilai Indeks Durabilitas I akan naik (semakin tidak awet) secara signifikan. Pada kondisi basa nilai Indeks Durabilitas I sedikit naik. Sedang pada kondisi *Refusal Density* (2x400) hampir sama dengan standar (2x75), namun setelah pH melewati angka 7,63 nilai Indeks Durabilitas I turun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya yang lebih menentukan adalah nilai Total Keasaman bukan pH.

9. Terhadap nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Tabel 4.61. Hubungan antara Nilai pH terhadap Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Nilai pH	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
6.80	93.320	83.365	69.778	47.963	93.529	83.485	71.029	56.171	56.357
6.90	95.529	87.154	75.062	58.782	95.354	88.163	76.228	57.988	7.469
7.63	94.151	86.139	75.554	59.969	93.393	84.972	68.990	51.898	29.197
7.80	93.632	85.123	71.415	53.883	94.619	86.418	72.931	55.595	11.543



Gambar 4.42. Grafik hubungan nilai pH dengan nilai Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Berdasarkan Tabel 4.61 dan Gambar 4.42., dapat dikatakan bahwa pada kondisi standar (2x75) nilai pH air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dibawah netral (pH mendekati 7) nilai Indeks Durabilitas II akan turun (semakin tidak awet) secara signifikan. Pada kondisi basa nilai Indeks Durabilitas II sedikit turun. Sedang pada kondisi *Refusal Density* (2x400) hampir sama dengan standar (2x75), namun setelah pH melewati angka 7,63 nilai Indeks Durabilitas II naik kembali. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya yang lebih menentukan adalah nilai Total Keasaman bukan nilai pH.

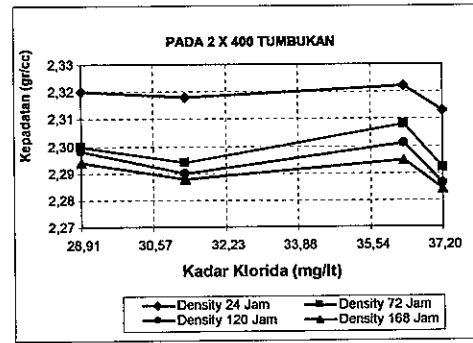
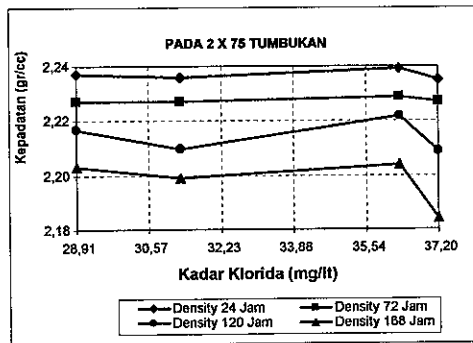
b. Pengaruh Kadar Klorida :

1. Terhadap kepadatan (gr/cc)

Kadar klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* yang memberikan nilai optimum kepadatan adalah pada nilai 36,31 mg/l, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400), seperti terlihat pada Tabel 4.62 dan Gambar 4.43

Tabel 4.62. Hubungan Kadar Klorida dengan Kepadatan (gr/cc)

Kadar Klorida (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	2,235	2,227	2,209	2,184	2,313	2,292	2,286	2,284	56,357
36,31	2,239	2,229	2,222	2,204	2,322	2,308	2,301	2,295	7,469
31,30	2,236	2,227	2,210	2,199	2,318	2,294	2,290	2,288	29,197
28,91	2,237	2,227	2,217	2,203	2,320	2,300	2,298	2,294	11,543

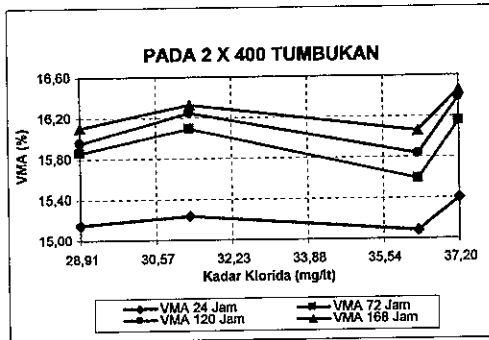
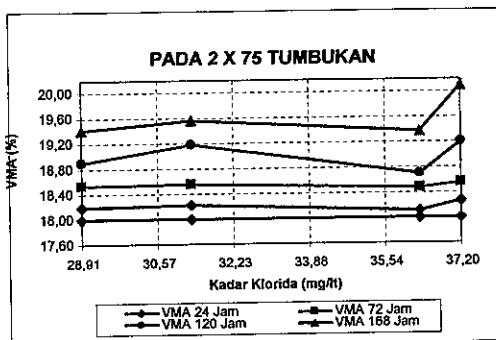


Gambar 4.43. Hubungan kadar klorida dengan kepadatan (%)

2. Terhadap nilai *VMA* (%)

Tabel 4.63. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai *VMA* (%)

Kadar Cl ⁻ (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	18,26	18,55	19,21	20,11	15,40	16,15	16,39	16,46	56,357
36,31	18,12	18,47	18,71	19,38	15,08	15,59	15,83	16,06	7,469
31,30	18,23	18,56	19,18	19,56	15,24	16,00	16,25	16,33	29,197
28,91	18,19	18,54	18,90	19,41	15,15	15,86	15,95	16,10	11,543



Gambar 4.44. Hubungan kadar klorida dengan *VMA* (%)

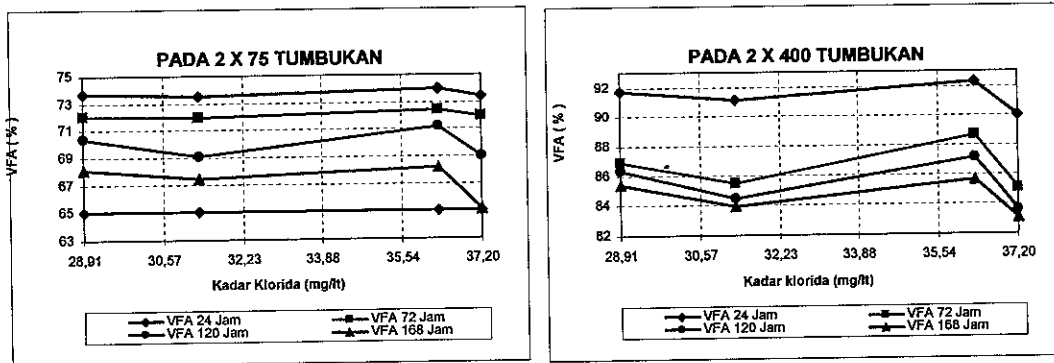
Berdasarkan Tabel 4.63 dan Gambar 4.44., dapat dilihat bahwa dengan variasi kadar klorida nilai *VMA* yang paling optimum terjadi pada kadar klorida 36,31 mg/lt, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400).

3. Terhadap nilai *VFA* (%)

Secara umum dapat dikatakan bahwa dengan variasi kadar klorida nilai *VMA* yang paling optimum terjadi pada kadar klorida 36,31 mg/lt, baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400)., seperti dapat dilihat pada Tabel 4.64 dan Gambar 4.45.

Tabel 4.64. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai *VFA* (%)

Kadar Cl ⁻ (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	73,40	71,95	68,98	65,10	90,02	85,03	83,59	83,14	56,357
36,31	74,02	72,37	71,22	68,20	92,30	88,71	87,16	85,67	7,469
31,30	73,51	71,92	69,06	67,39	91,14	85,44	84,44	83,96	29,197
28,91	73,71	72,01	70,38	68,07	91,77	86,90	86,35	85,41	11,543



Gambar 4.45. Hubungan kadar klorida dengan *VFA* (%)

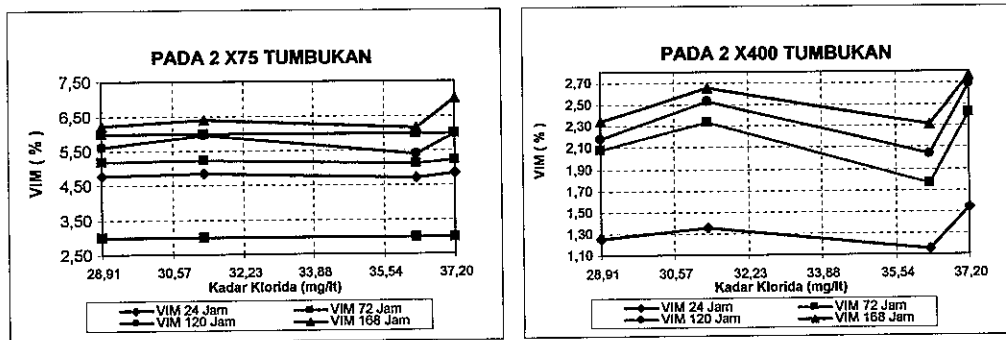
4. Terhadap nilai *VIM* (%)

Pada kondisi standar (2x75), sampai dengan nilai 36,31 mg/lt, kadar klorida pengaruhnya kecil terhadap nilai *VIM*. Namun kadar klorida diatas 36,31 mg/lt nilai *VIM* naik drastis. Sedang pada kondisi *Refusal Density* (2x400), sampai kadar klorida 31,30 mg/lt nilai *VIM* naik kemudian turun lagi sampai kadar

klorida 36,31 mg/lit kemudian naik lagi, seperti terlihat pada Tabel 4.65 dan Gambar 4.46.

Tabel 4.65. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai *VIM* (%)

Kadar Cl ⁻ (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	4,86	5,21	5,97	7,02	1,54	2,42	2,69	2,77	56,357
36,31	4,71	5,11	5,40	6,17	1,16	1,76	2,04	2,31	7,469
31,30	4,83	5,21	5,94	6,38	1,35	2,34	2,53	2,66	29,197
28,91	4,78	5,19	5,61	6,21	1,25	2,08	2,18	2,35	11,543

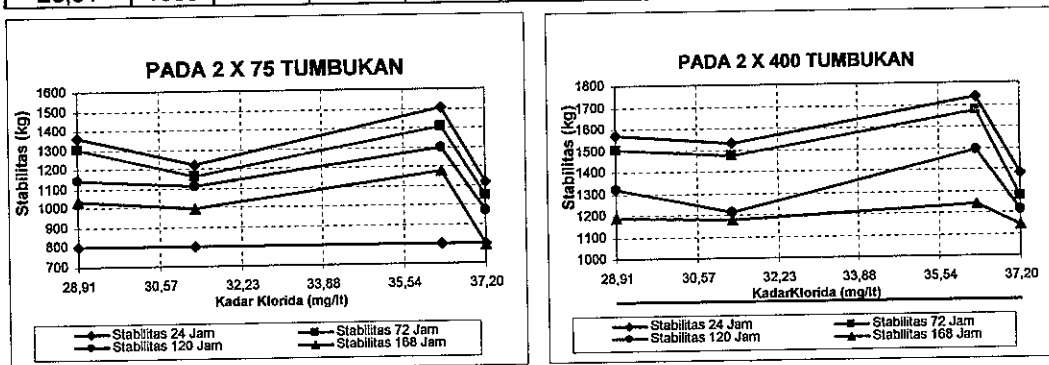


Gambar 4.46. Hubungan kadar klorida dengan *VIM* (%)

5. Terhadap nilai stabilitas (kg)

Tabel 4.66. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai Stabilitas (kg)

Kadar Cl ⁻ (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	1120	1044	970	796	1385	1276	1210	1144	56,357
36,31	1505	1405	1299	1173	1737	1672	1492	1240	7,469
31,30	1222	1165	1111	994	1534	1474	1213	1175	29,197
28,91	1359	1303	1143	1032	1574	1503	1319	1188	11,543



Gambar 4.47. Hubungan kadar klorida dengan stabilitas (kg)

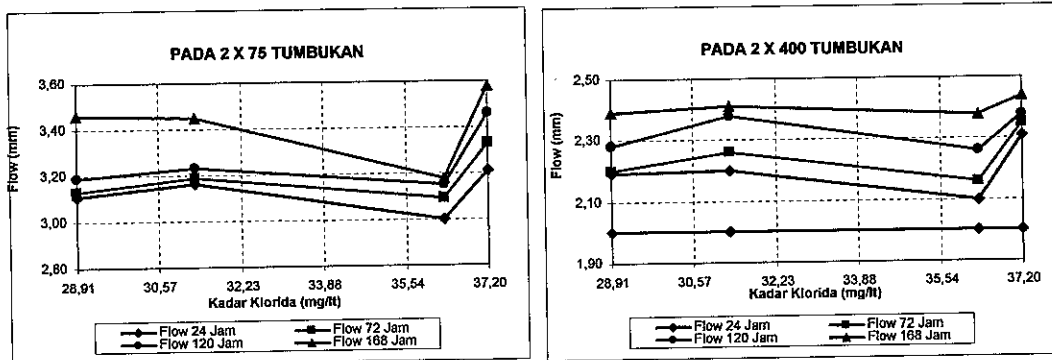
Berdasarkan Tabel 4.66 dan Gambar 4.47, dapat dilihat bahwa hubungan antara kadar klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dengan nilai stabilitas baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400) tidak konsisten. Namun nilai stabilitas tertinggi terjadi pada kadar klorida 36,31 mg/lt. Ini menunjukkan bahwa yang lebih berpengaruh pada nilai stabilitas adalah nilai Total Keasaman, bukan kadar klorida.

6. Terhadap nilai *Flow* (mm)

Kadar klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* sebesar 36,31 mg/lt menjadikan nilai *Flow* paling kecil baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400) adalah , seperti terlihat pada Tabel 4.67 dan Gambar 4.48.

Tabel 4.67. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai *Flow* (mm)

Kadar Cl ⁻ (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	3,21	3,33	3,46	3,58	2,31	2,35	2,38	2,44	56,357
36,31	3,00	3,09	3,15	3,18	2,10	2,16	2,26	2,38	7,469
31,30	3,16	3,19	3,23	3,45	2,20	2,26	2,38	2,41	29,197
28,91	3,11	3,13	3,19	3,46	2,19	2,20	2,28	2,39	11,543

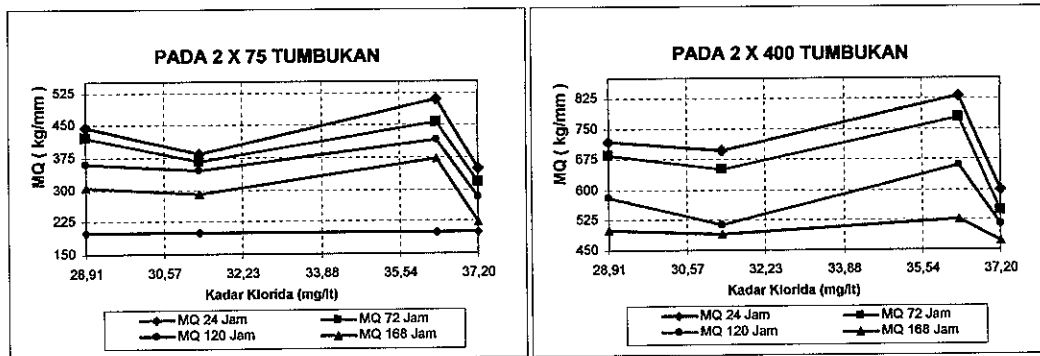


Gambar 4.48. Hubungan kadar klorida dengan *Flow* (mm)

7. Terhadap nilai *MQ* (kg/mm)

Tabel 4.68. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai *MQ* (kg/mm)

Kadar Cl ⁻ (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	349,3	316,0	282,0	224,0	599,9	545,0	512,0	473,0	56,357
36,31	508,7	458,0	416,0	371,0	831,0	778,0	661,0	524,0	7,469
31,30	384,2	366,0	345,0	290,0	699,0	653,0	513,0	489,0	29,197
28,91	445,6	421,0	361,0	305,0	721,0	687,0	581,0	499,0	11,543



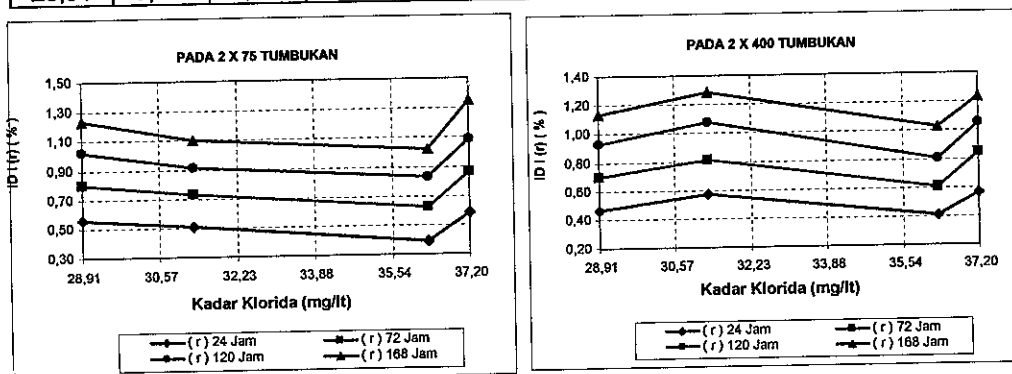
Gambar 4.49. Hubungan kadar klorida dengan MQ (kg/mm)

Berdasarkan Tabel 4.68 dan Gambar 4.49, dapat dilihat bahwa hubungan antara kadar Klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dengan nilai MQ baik pada kondisi standar (2×75) maupun *Refusal Density* (2×400) tidak konsisten. Namun nilai MQ tertinggi terjadi pada kadar klorida 36,31 mg/l. Ini menunjukkan bahwa yang lebih berpengaruh pada nilai stabilitas adalah nilai Total Keasaman, bukan kadar klorida.

8. Terhadap Indeks Durabilitas I (r, %)

Tabel 4.69. Hubungan Kadar Klorida dengan Nilai Indeks Durabilitas I (r, %).

Kadar Cl^- (mg/l)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	0,581	0,861	1,089	1,351	0,562	0,845	1,055	1,233	56,357
36,31	0,389	0,624	0,828	1,023	0,404	0,606	0,807	1,025	7,469
31,30	0,508	0,734	0,912	1,099	0,574	0,811	1,080	1,285	29,197
28,91	0,554	0,793	1,024	1,234	0,468	0,699	0,925	1,133	11,543



Gambar 4.50. Hubungan kadar klorida dengan Nilai Indeks Durabilitas I (r, %).

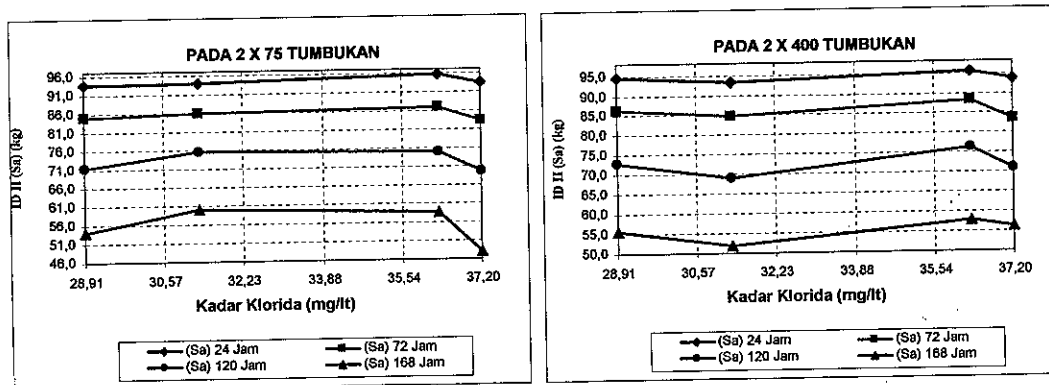
Berdasarkan Tabel 4.69 dan Gambar 4.50, dapat dikatakan bahwa pada kondisi standar (2x75) kadar klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dari sampai dengan 36,31 mg/l nilai Indeks Durabilitas I akan turun (semakin awet). Lebih dari 36,31 mg/l Indeks Durabilitas I sedikit naik secara drastis. Sedang pada kondisi *Refusal Density* (2x400) hampir sama dengan standar (2x75), namun sampai kadar klorida 31,3 mg/l nilai Indeks Durabilitas I naik. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya yang lebih menentukan adalah nilai Total Keasaman bukan kadar klorida.

9. Terhadap nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Dapat dikatakan bahwa pada kondisi standar (2x75) kadar klorida air rob yang merendam campuran *HRS-WC* dari sampai dengan 36,31 mg/l nilai Indeks Durabilitas II akan naik (semakin awet). Lebih dari 36,31 mg/l Indeks Durabilitas II sedikit turun secara drastis. Sedang pada kondisi *Refusal Density* (2x400) hampir sama dengan standar (2x75), namun sampai kadar klorida 31,3 mg/l nilai Indeks Durabilitas II naik, seperti terlihat pada Tabel 4.70 dan Gambar 4.51.

Tabel 4.70. Hubungan Kadar klorida dengan Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %).

Kadar Cl ⁻ (mg/l)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
37,20	93,320	83,365	69,778	47,963	93,529	83,485	71,029	56,171	56,357
36,31	95,529	87,154	75,062	58,782	95,354	88,163	76,228	57,988	7,469
31,30	94,151	86,139	75,554	59,969	93,393	84,972	68,990	51,898	29,197
28,91	93,632	85,123	71,415	53,883	94,619	86,418	72,931	55,595	11,543



Gambar 4.51. Hubungan kadar klorida dengan Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %).

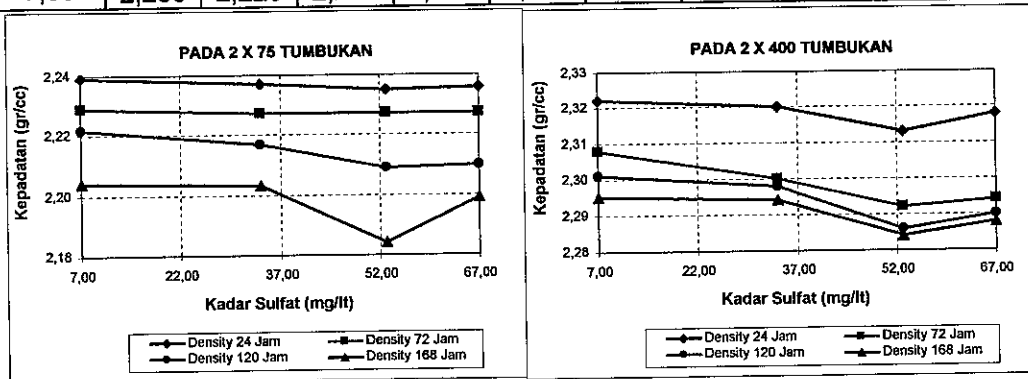
c. Pengaruh Kadar Sulfat :

1. Terhadap nilai kepadatan (gr/cc)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai kepadatan baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana kepadatan terendah/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lit, seperti terlihat pada Tabel 4.71 dan Gambar 4.52.

Tabel 4.71. Hubungan Kadar Sulfat dengan Kepadatan (gr/cc)

Kadar Sulfat (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	2,236	2,227	2,210	2,199	2,318	2,294	2,290	2,288	29,197
53,00	2,235	2,227	2,209	2,184	2,313	2,292	2,286	2,284	56,357
34,00	2,237	2,227	2,217	2,203	2,320	2,300	2,298	2,294	11,543
7,00	2,239	2,229	2,222	2,204	2,322	2,308	2,301	2,295	7,469



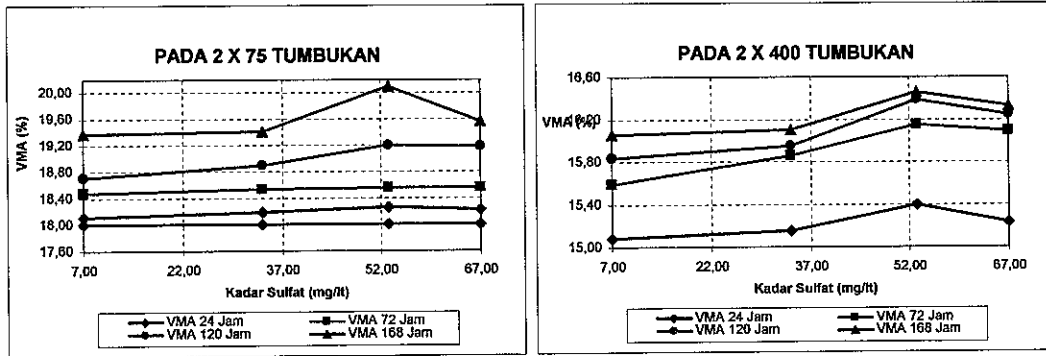
Gambar 4.52. Hubungan kadar Sulfat dengan Kepadatan (gr/cc)

2. Terhadap nilai *VMA* (%)

Semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menaikkan nilai *VMA* baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana *VMA* tertinggi/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lit, seperti terlihat pada Tabel 4.72 dan Gambar 4.53.

Tabel 4.72. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai *VMA* (%)

Kadar Sulfat (mg/lit)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lit)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	18,23	18,56	19,18	19,56	15,24	16,09	16,25	16,33	29,197
53,00	18,26	18,55	19,21	20,11	15,40	16,15	16,39	16,46	56,357
34,00	18,19	18,54	18,90	19,41	15,15	15,86	15,95	16,10	11,543
7,00	18,12	18,47	18,71	19,38	15,08	15,59	15,83	16,06	7,469

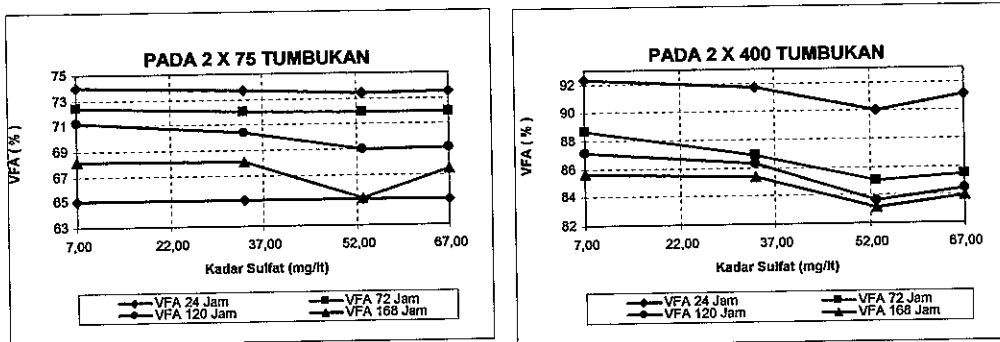


Gambar 4.53. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai *VMA* (%)

3. Terhadap nilai *VFA* (%)

Tabel 4.73. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai *VFA* (%)

Kadar Sulfat (mg/l)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	73,51	71,92	69,06	67,39	91,14	85,44	84,44	83,96	29,197
53,00	73,40	71,95	68,98	65,10	90,02	85,03	83,59	83,14	56,357
34,00	73,71	72,01	70,38	68,07	91,77	86,90	86,35	85,41	11,543
7,00	74,02	72,37	71,22	68,20	92,30	88,71	87,16	85,67	7,469



Gambar 4.54. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai *VFA* (%)

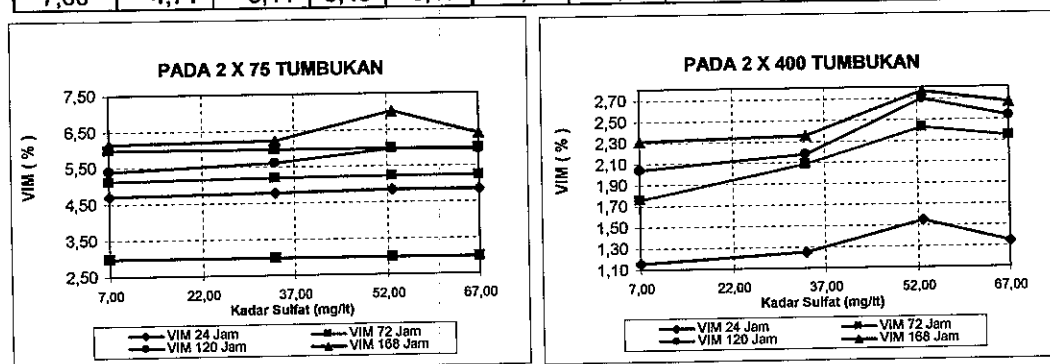
Berdasarkan Tabel 4.73 dan Gambar 4.54, dapat dilihat bahwa semakin besar kadar sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai *VFA* baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana *VFA* terendah/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/l.

4. Terhadap nilai *VIM* (%)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menaikkan nilai *VIM* baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana nilai *VIM* tertinggi/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lt, seperti terlihat pada Tabel 4.74 dan Gambar 4.5

Tabel 4.74. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai *VIM* (%)

Kadar Sulfat (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	4,83	5,21	5,94	6,38	1,35	2,34	2,53	2,66	29,197
53,00	4,86	5,21	5,97	7,02	1,54	2,42	2,69	2,77	56,357
34,00	4,78	5,19	5,61	6,21	1,25	2,08	2,18	2,35	11,543
7,00	4,71	5,11	5,40	6,17	1,16	1,76	2,04	2,31	7,469



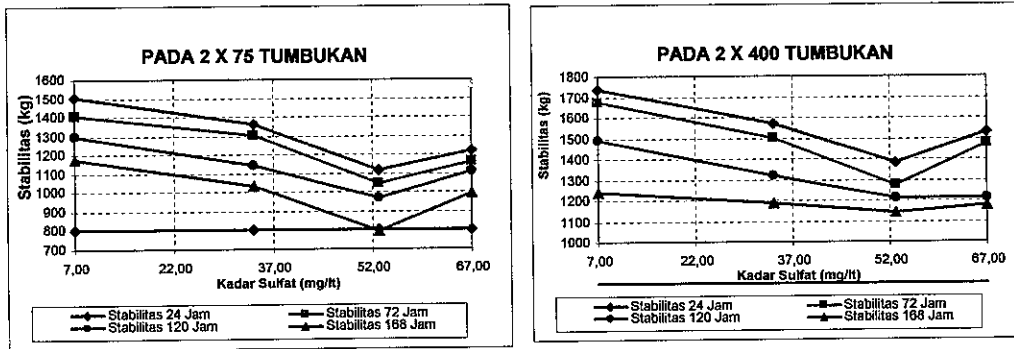
Gambar 4.55. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai *VIM* (%)

4. Terhadap nilai stabilitas (kg)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai stabilitas baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana nilai stabilitas terendah/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lt, seperti terlihat pada Tabel 4.75 dan Gambar 4.56.

Tabel 4.75. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Stabilitas (kg)

Kadar Sulfat (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	1222	1165	1111	994	1534	1474	1213	1175	29,197
53,00	1120	1044	970	796	1385	1276	1210	1144	56,357
34,00	1359	1303	1143	1032	1574	1503	1319	1188	11,543
7,00	1505	1405	1299	1173	1737	1672	1492	1240	7,469



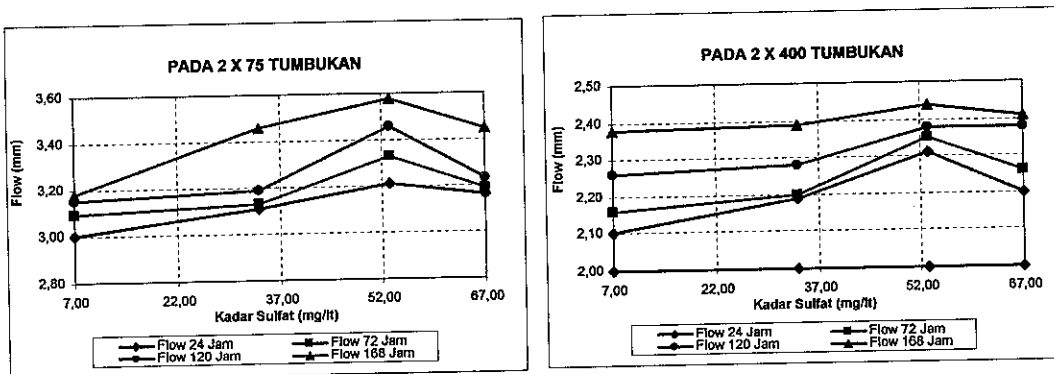
Gambar 4.56. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai Stabilitas (kg)

5. Terhadap nilai *Flow* (mm)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menaikkan nilai *Flow* baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400) Dimana nilai *Flow* terendah/optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/l, seperti terlihat pada Tabel 4.76 dan Gambar 4.57.

Tabel 4.76. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai *Flow* (mm)

Kadar Sulfat (mg/l)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	3,16	3,19	3,23	3,45	2,20	2,26	2,38	2,41	29,197
53,00	3,21	3,33	3,46	3,58	2,31	2,35	2,38	2,44	56,357
34,00	3,11	3,13	3,19	3,46	2,19	2,20	2,28	2,39	11,543
7,00	3,00	3,09	3,15	3,18	2,10	2,16	2,26	2,38	7,469



Gambar 4.57. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai *Flow* (mm)

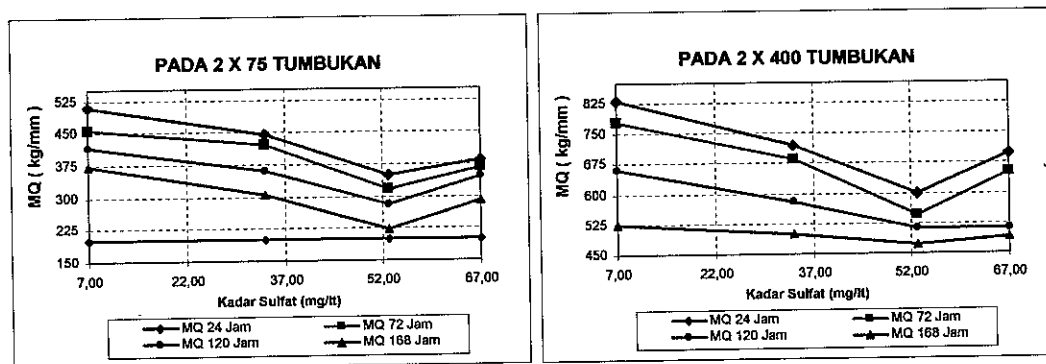
7. Terhadap nilai *MQ* (kg/mm)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai *MQ* baik pada kondisi

standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana nilai *MQ* terendah/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lt, seperti terlihat pada Tabel 4.77 dan Gambar 4.58.

Tabel 4.77. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai *MQ* (kg/mm)

Kadar Sulfat (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasamaan (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	384,2	366,0	345,0	290,0	699,0	653,0	513,0	489,0	29,197
53,00	349,3	316,0	282,0	224,0	599,9	545,0	512,0	473,0	56,357
34,00	445,6	421,0	361,0	305,0	721,0	687,0	581,0	499,0	11,543
7,00	508,7	458,0	416,0	371,0	831,0	778,0	661,0	524,0	7,469



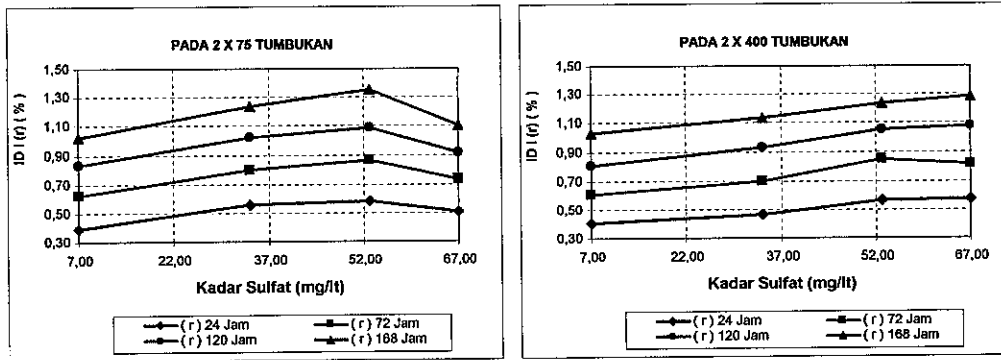
Gambar 4.58. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai *MQ* (kg/mm)

8. Terhadap nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menaikkan nilai Indeks Durabilitas I (campuran semakin tidak awet), baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana nilai r tertinggi/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/lt, seperti terlihat pada Tabel 4.78 dan Gambar 4.59.

Tabel 4.78. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

Kadar Sulfat (mg/lt)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Keasamaan (mg/lt)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	0,508	0,734	0,912	1,099	0,574	0,811	1,080	1,285	29,197
53,00	0,581	0,861	1,089	1,351	0,562	0,845	1,055	1,233	56,357
34,00	0,554	0,793	1,024	1,234	0,468	0,699	0,925	1,133	11,543
7,00	0,389	0,624	0,828	1,023	0,404	0,606	0,807	1,025	7,469



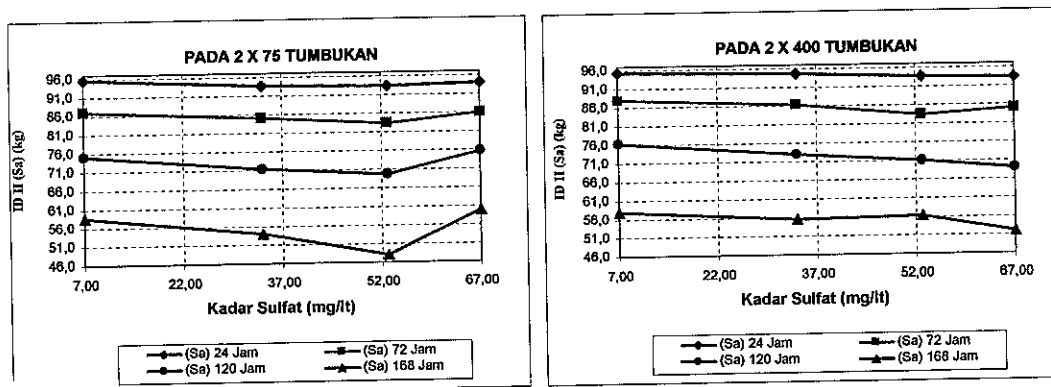
Gambar 4.59. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai Indeks Durabilitas I (r, %)

9. Terhadap nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar kadar Sulfat air rob yang merendam campuran *HRS-WC* akan menurunkan nilai Indeks Durabilitas II (campuran semakin tidak awet), baik pada kondisi standar (2x75) maupun *Refusal Density* (2x400). Dimana nilai Sa terendah/ optimum terjadi pada kadar sulfat 53 mg/l, seperti terlihat pada Tabel 4.79 dan Gambar 4.60.

Tabel 4.79. Hubungan Kadar Sulfat dengan Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

Kadar Sulfat (mg/l)	(2 x 75 tumbukan)				(2 x 400 tumbukan)				Total Ke-asaman (mg/l)
	Lama Rendaman				Lama Rendaman				
	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	24 jam	72 jam	120 jam	168 jam	
67,00	94,151	86,139	75,554	59,969	93,393	84,972	68,990	51,898	29,197
53,00	93,320	83,365	69,778	47,963	93,529	83,485	71,029	56,171	56,357
34,00	93,632	85,123	71,415	53,883	94,619	86,418	72,931	55,595	11,543
7,00	95,529	87,154	75,062	58,782	95,354	88,163	76,228	57,988	7,469



Gambar 4.60. Hubungan kadar Sulfat dengan Nilai Indeks Durabilitas II (Sa, %)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah disampaikan di muka, dapat diambil suatu kesimpulan dari analisa *Marshall* tahap I untuk menentukan kadar aspal optimum sebagai dasar untuk penelitian tahap II yaitu pengaruh perendaman air laut pasang (rob) berdasarkan uji *Marshall* dan uji perendaman modifikasi pada kondisi standard (2 x 75) tumbukan dan kondisi *refusal density* (4 x 400) tumbukan.

5.1.1 Analisis *Marshall* tahap I untuk menentukan kadar aspal optimum campuran lataston *HRS-WC*, yang ditunjukkan seperti berikut ini :

Nilai untuk uji analisis *void* campuran yang memenuhi syarat $VMA > 18\%$ pada kadar aspal 6% - 7,5%, $VFA > 65\%$ pada kadar aspal 7% - 8% dan $VIM = 3\% - 6\%$ pada kadar aspal 7% - 7,5%, untuk pengujian stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *IRS* dari kadar aspal 6% - 8% semua memenuhi persyaratan, dari analisis dan pengujian di atas, maka ditentukan kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 7% - 7,5%, yaitu 7,25 %.

5.1.2 Pengujian air sebagai sarana perendaman adalah sebagai berikut:

pH untuk air dari Laboratorium termasuk katagori netral (6,9), air rob dari LIK sedikit asam (6,8), sampel air rob jalan Ronggowarsito sedikit basa (7,8) dan sampel air rob jalan Mpu Tantular sedikit basa (7,63).

Nilai total Alkalinity 170,154 mg/lt dan total keasaman 7,469 mg/lt untuk sampel air dari Laboratorium termasuk katagori normal, untuk sampel air rob dari LIK nilai total Alkalinity 382,2 mg/lt dan total keasaman 56,357 mg/lt masuk katagori tingkat keasaman sangat tinggi, untuk sampel air Rob jl.Ronggowarsito nilai total Alkalinity 268,52 mg/lt dan total keasaman 11,543 mg/lt masuk katagori tingkat keasaman menengah, untuk sampel air rob jl. Mpu Tantular nilai total Alkalinity 331,54 mg/lt dan total keasaman 29,197 mg/lt masuk katagori tingkat keasaman tinggi.

5.1.3 Dari penelitian Tahap kedua didapatkan sifat-sifat *Marshall* dan perendaman modifikasi campuran pada kadar aspal optimum terhadap lama perendaman, sebagai berikut ini :

- a. Nilai semua karakteristik *Marshall* terhadap lama perendaman pada semua nilai Total Keasaman, untuk hasil analisa *void* (*VMA*, *VFA* dan *VIM*) memenuhi persyaratan sesuai dalam spesifikasi pada tingkat kepadatan standar (2×75) tumbukan. Sedangkan pada tingkat kepadatan *refusal density* (2×400) tumbukan, nilai *VIM* untuk tingkat keasaman paling rendah pada rendaman 72 jam adalah 1,76%, yang berarti berada dibawah 2%, jadi tidak memenuhi persyaratan. Hal ini mengakibatkan nilai *VFA* pada perendaman 24 jam adalah 92,30% yang mengindikasikan campuran mengalami *bleeding*. Demikian pula pada perendaman 24 jam nilai *VIM* dibawah 2% untuk semua nilai Total Keasaman, jadi tidak memenuhi persyaratan. Hal ini mengakibatkan nilai *VFA* pada perendaman 24 jam $> 85\%$, yang mengindikasikan campuran mengalami *bleeding*. Keputusan pemilihan kadar aspal optimum pada nilai tengah antara 7% sampai 7,5% atau kadar aspal optimum 7,25% dinilai kurang tepat. Seharusnya dipilih kadar aspal pada 7% - 7,25% untuk mendapatkan nilai *VIM* kondisi standard dan *VIM* kondisi *refusal density* yang lebih besar sehingga memenuhi persyaratan $> 2\%$, serta mengurangi nilai *VFA* yang berlebihan, tidak boleh melebihi 85%, untuk menghindari deformasi permanen (*bleeding*).
- b. Nilai pengujian stabilitas pada kondisi standard terhadap lama perendaman semua memenuhi persyaratan kecuali pada perendaman 168 jam adalah 796 kg, yang berarti tidak memenuhi persyaratan (< 800 kg). Sedangkan pada kondisi *refusal density* nilai stabilitas lebih besar dari kondisi standard, ini disebabkan dari energi pemadatan yang mengakibatkan rongga campuran menjadi kecil dan stabilitas menjadi besar, semua memenuhi persyaratan, diatas nilai Stabilitas > 800 kg,
- c. Nilai pengujian *flow* pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* untuk semua nilai Total Keasaman terhadap lama perendaman memenuhi persyaratan. Nilai *flow* kondisi *refusal density* lebih kecil dari kondisi standard, hal ini disebabkan karena energi pemadatan yang mengakibatkan rongga campuran menjadi kecil dan *flow* menjadi kecil, nilai pengujian *flow* berada di atas nilai persyaratan $flow > 2$ mm.
- d. Nilai pengujian *MQ* pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* untuk semua nilai Total Keasaman terhadap lama perendaman masih memenuhi persyaratan, dengan nilai *MQ* kondisi *refusal density* lebih besar dari kondisi

standard, ini disebabkan karena energi pemadatan mengakibatkan rongga campuran menjadi kecil dan MQ menjadi besar, nilai pengujian MQ berada di atas nilai persyaratan $MQ > 200 \text{ kg/mm}$.

- e. Nilai Indeks Stabilitas Sisa standard (*IRS standard*) pada kondisi standard dan pada kondisi *refusal density* terhadap lama perendaman yang memenuhi persyaratan hanya sampai pada lama perendaman 72 jam. Sedangkan untuk lama perendaman 120 jam dan 168 jam baik standard maupun *refusal density* tidak memenuhi persyaratan, hal ini disebabkan karena kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah, akibat tingginya kadar sulfat (SO_4^-), tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman. Persyaratan untuk nilai $IRS > 80 \%$, sehingga pada saat dibukanya lalulintas yang dipresentasikan pada (2x75) tumbukan sampai saat berakhirnya masa pelayanan yang dipersentasikan pada (2x400) tumbukan hanya sampai 72 jam perendaman yang dapat diterima.

5.1.4 Dari hasil evaluasi pengujian Perendaman Modifikasi terhadap lama perendaman di atas menghasilkan indeks durabilitas sisa sebagai berikut ini :

- a. Indeks Durabilitas Pertama

Lama perendaman mengakibatkan naiknya nilai indeks (r dan R), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Hal ini disebabkan semakin lama campuran terendam air rob, tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman membuat kerapatan campuran menjadi berkurang.

- b. Indeks Durabilitas Kedua

Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai indeks stabilitas sisa (S_a), baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density*. Untuk keempat sampel terhadap lama perendaman yang memenuhi persyaratan hanya sampai pada lama perendaman 72 jam. Sedangkan untuk lama perendaman 120 jam dan 168 jam baik standard maupun *refusal density* tidak memenuhi persyaratan, hal ini disebabkan karena kemampuan aspal mempertahankan ikatan antar agregat baik kohesi maupun adhesi melemah, akibat tingginya tingkat Alkalinity dan tingkat

Keasaman. Persyaratan untuk nilai nilai indeks stabilitas sisa (Sa) , baik pada kondisi standar maupun pada *refusal density* > 80 %.

5.1.5 Pengaruh kualitas/ unsur kimiawi air rob :

a. Nilai pH

Tidak dapat diambil kesimpulan yang spesifik pengaruh nilai pH terhadap kinerja *HRS-WC*. Karena yang lebih berpengaruh terhadap kinerja *HRS-WC* adalah nilai Total Keasaman (semakin tinggi nilai Total Keasaman, semakin rendah kinerja *HRS-WC*). Namun secara umum dapat dikatakan bahwa pada saat pH air rob netral (mendekati 7, dalam hal ini nilai Total Keasaman paling rendah = 7,469 mg/l) kinerjanya paling baik. Hal ini berlaku pada saat dibukannya lalulintas dan akhir masa pelayanan (*refusal density*)

b. Kadar Chlorida (Cl⁻)

Seperti pengaruh nilai pH, pengaruh kadar chlorida terhadap kinerja *HRS-WC* tidak dapat diambil kesimpulan yang spesifik. Karena yang lebih berpengaruh terhadap kinerja *HRS-WC* adalah nilai Total Keasaman (semakin tinggi nilai Total Keasaman, semakin rendah kinerja *HRS-WC*). Namun secara umum dapat dikatakan kinerja *HRS-WC* yang paling baik/ optimum terjadi pada kadar chlorida 36,31 mg/l, dalam hal ini nilai Total Keasaman paling rendah adalah 7,469 mg/l. Hal ini berlaku pada saat dibukannya lalulintas dan akhir masa pelayanan (*refusal density*).

c. Kadar Sulfat (SO₄)

Semakin besar kadar sulfat yang terkandung dalam air rob, kinerja *HRS-WC* semakin turun. Hal ini terjadi untuk kadar sulfat sampai dengan 53 mg/l, karena kadar sulfat yang lebih besar dari 53 mg/l justru menetralkan keasaman air rob (terbukti nilai Total Keasaman mengecil kembali) sehingga kinerja *HRS-WC* naik kembali.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian bahan agregat – aspal, analisis rongga dan pengujian *Marshall* dan pengujian Perendaman Modifikasi, perlu beberapa saran untuk ditindak lanjuti, sebagai berikut :

- a. Spesifikasi untuk Lataston *HRS-WC* memerlukan gradasi senjang untuk mendapatkan sifat kelenturan yang tinggi, sehingga *HRS-WC* membutuhkan kadar aspal yang tinggi untuk mendapatkan nilai *VFA* dan *VIM* sesuai spesifikasi baik pada kondisi standard maupun kondisi *refusal density*. Dari hasil penelitian ini untuk mendapatkan kadar aspal optimum digunakan nilai tengah dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan, hasilnya tidak memuaskan. Dikarenakan nilai tengah dari kadar aspal ternyata menghasilkan nilai *VFA* dan *VIM* pada kondisi *refusal density* tidak memenuhi persyaratan. Hal ini disebabkan masih tingginya kadar aspal optimum (7,25%). Untuk itu disarankan dipakai mendekati nilai terkecil dari kadar aspal yang memenuhi persyaratan (7% - 7,25%), supaya mendapatkan nilai *VFA* dan *VIM* yang memadai.
- b. Dari hasil analisis rongga, pengujian *Marshall* dan pengujian perendaman modifikasi pada campuran *HRS-WC* terhadap lama perendaman (24, 72, 120, 168 jam) di laboratorium, dengan Total Keasaman sampai dengan 56 mg/lt, disarankan :
- 1) Konstruksi lapis perkerasan jenis Lataston *HRS-WC* tidak boleh terendam oleh air pasang laut (rob) selama 72 jam terus menerus. Ditambah energi pemadatan (yang direpresentasikan beban lalu lintas), rongga telah terisi air (hasil pengamatan sampel yang di bongkar) sehingga campuran telah mengalami *swelling*/mengembang. Dimana air rob yang mengandung unsur-unsur asam ini sanggup merusak ikatan kohesi aspal dan adhesi aspal dan agregat.
 - 2) Perlu penanganan secara komprehensif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah rob, misalnya dengan pembuatan kolam-kolam retensi (polder) untuk menampung air pasang laut, menghentikan reklamasi pantai, mengembalikan lahan-lahan yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air dan lain sebagainya.
 - 3) Perlu penelitian lanjutan untuk mengatasi rembesan air ke dalam campuran dengan uji permeabilitas, serta penggunaan konstruksi bergradasi rapat semisal *AC-WC* dengan menggunakan aspal *polimer plastomir* yang memiliki kekenyalan dan kelengketan yang sangat tinggi untuk menahan kerusakan ikatan kohesi dan adhesi antara agregat dan aspal akibat tingginya tingkat Alkalinity dan tingkat Keasaman.
 - 4) Perlu dilakukan penelitian sejenis dengan kandungan unsur-unsur kimia (klorida, sulfat dll) air yang merendam campuran aspal panas diatur/ ditentukan. Sehingga pengaruh unsur-unsur kimia tersebut terhadap kinerja campuran aspal panas dapat diketahui lebih pasti.

- 5) Perlu penelitian lebih mendalam untuk mendapatkan campuran aspal panas yang lebih tahan terhadap unsur-unsur kimia seperti chlorida, sulfat, merkuri, arsen dan lain-lain.
- 6) Perlu dibuat standar spesifikasi khusus pekerjaan konstruksi perkerasan lentur untuk daerah yang mengalami rendaman air laut (Rob), mengingat sangat berbahayanya kandungan asam yang ada di dalam air laut tersebut terhadap bahan konstruksi jalan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *AASHTO*, (1993), *Guide For Design of Pavement Structure*, Washington DC.
2. *AUSTROADS*, (1997), *Pavement Design*, Sydney 1992.
3. Bagus Priyatno, (2001), Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Oktober 2001.
4. Cakra Nagara dan Bambang IS, (2003), Pengaruh Penguapan Pengembunan Berulang terhadap Durabilitas Beton Aspal yang menggunakan Metode Pencampuran Hot Mix dan Cold Mix, Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta.
5. Craus, J. Et al, (1981), *Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Typa and Properties, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions*, San Diego, California, February 16, 17 and 18, 1981, Volume 50.
6. Departemen Pekerjaan Umum, (1987), Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.326.UDC.625.73(02), Biro Penerbit PU.
7. Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, (1999), Pedoman Perencanaan Campuran Aspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak.
8. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2001), Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas.
9. Harold N. Atkins, (1996), *Highway Materials, Soils and Concretes, 3th Edition* Prentice Hall, New Jersey.
10. Hartom, (1985), *The Influence of Fine Aggregate Type on the Resistance to Permanent Deformation of Hot Rolled Asphalt*, Magister Thesis, Institute of Technology Bandung.
11. Henry Kesauli, (1997), *Pengaruh Efek Pemanasan ulang pada Durabilitas Campuran Beton Aspal*, Tugas Akhir, Program Studi Transportasi UGM, Yogyakarta.
12. Hunter RN, (1984), *Bituminous Mixtures in Road Construction*, Thomas Telford, London.
13. Ishai, I, (1977), Effect of the Filler on Aggregate Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixture, Procceding of the Association of Asphalt Paving Technologists, Asphalt Paving Technology.
14. K. A. Zamhari, (1999), Kelompok Bidang Keahlian Bahan Perkerasan Jalan, Campuran Aspal Beton.

15. Kennedy, T. W, (1996), *The Bottom Line: Superpave System Works*, The Superpave Asphalt research Program, The University of Texas at Austin.
16. Kerbs, R.D and Walker, R.D, (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill, New York.
17. Robert D. Krebs dan Richard D. Walker, (1971), *Highway Materials, McGraw Hill Inc.*
18. Sam Sudjarwo Mihardjo, (2002), Pengaruh Temperatur Pemadatan Terhadap Deformasi Plastis dan Durabilitas Campuran Beton Aspal.
19. Shell Bitumen, (1991), *The Shell Bitumen Hand Book*.
20. Silvia S, (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova Bandung.
21. Siswosoebrotho, Syafruddin, Budiman, (2002), Karakteristik Pasir dan Bahan Pengisi dari laut serta pengaruhnya terhadap Durabilitas Campuran Beraspal Jenis Hot Rolled Sheet, Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB, Bandung.
22. Sukmana Fauzi, (2001), Pengaruh Perendaman Terhadap sifat Marshall dan Durabilitas Campuran Beton Aspal yang menggunakan Aspal AC 60/70 Merk Pertamina dan Merk Esso, Thesis Magister STT UGM, Yogyakarta.
23. Syukur Sebayang, (2000), Pengaruh Pasir Pantai terhadap Mutu Campuran Aspal Beton, Jurnal Iptek, Universitas Lampung.
24. The Asphalt Institute, *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements Manual series No. 22, Second Edition Lexington USA.*
25. The Asphalt Institute, (1996), *Superpave Mix design, Superpave Series No. 2 (sp-2) Lexington USA.*
26. The Asphalt Institute, (1997), *Performance Graded Asphalt Binder Specificatin and Testing, Superpave Series No. 1 (sp-1) Lexington USA.*
27. Wan Ramli. (2000), Pengaruh Dust Proportion Tinggi dan Lama Perendaman Terhadap Karakteristik Campuran Panas Beton Aspal dengan Kadar Filler Rendah Berdasarkan Uji Marshall, Thesis Magister STT UGM, Yogyakarta.
28. Yang H. Huang, (1993), *Pavement Analysis and Design*, Prentice Hall New Jersey
29. Y. Martono Hadi, (2003), Permeabilitas dan Pengaruhnya Terhadap Durabilitas Campuran Beraspal, Makalah Konferensi Nasional Teknik Jalan ke-7 Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia, Jakarta.