

TUGAS AKHIR

PENGARUH *OIL SLUDGE* SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS (*THE EFFECT OF OIL SLUDGE AS A SUBSTITUTE FOR ASPHALT PEN 60/70 CHARACTERISTICS OF MIXED POROUS ASPHALT*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Muhammad Bahtiar
12 511 468**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

ABSTRAK

Jenis perkerasan aspal porus masih sangat jarang diaplikasikan di lapangan terlebih di Indonesia masih sangat jarang. Perkerasan aspal porus umumnya masih mengeluhkan rendahnya nilai stabilitas dan sangat tergantung dari mutu aspal sebagai pengikat agregat. Upaya untuk meningkatkan stabilitas serta mutu campuran aspal maka dibutuhkan bahan tambah atau semacamnya. Pemanfaatan material sisa pengolahan minyak bumi dan gas PT.Pertamina sebagai campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan nilai guna material tersebut sehingga mampu dimanfaatkan lebih maksimal untuk konstruksi perkerasan jalan yang biasa disebut *oil sludge*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan sifat fisik aspal setelah adanya substitusi *oil sludge* dan seberapa besar pengaruh penambahan *oil sludge* dari Pertamina Cilacap pada campuran perkerasan aspal porus sebagai substitusi aspal terhadap karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, Permeabilitas, *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro*.

Pada penelitian ini dilakukan 5 tahap, yaitu tahap pertama pengujian sifat material yang terdiri dari pengujian agregat, aspal dan residu aspal / *oil sludge*. Tahap kedua adalah menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus. Tahap ketiga melakukan pengujian penetrasi dan titik lembek pada aspal dengan substitusi *oil sludge*. Tahap keempat melakukan uji *Marshall*, uji *Immersion*, uji *Indirect Tensile Strength*, uji Permeabilitas, uji *Asphalt Flow Down*, dan uji *Cantabro*. Tahap kelima adalah melakukan analisis, pembahasan dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *oil sludge* mempengaruhi sifat fisik aspal dengan nilai indeks penetrasi yang semakin meningkat karena naiknya nilai penetrasi dan titik lembek aspal tersebut. Pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa dengan substitusi *oil sludge* dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan hanya sampai batas substitusi sebesar 7,7%. Hasil pengujian *Marshall* tersebut menunjukkan bahwa kemampuan campuran menahan beban berkurang tetapi kelenturan juga semakin berkurang, hal ini diukur dengan nilai stabilitas yang menurun signifikan dan nilai *flow* mengalami penurunan. Nilai *Marshall Quotient*, *VITM* dan *VMA* mengalami penurunan yang tidak signifikan, dan *VFWA* mengalami peningkatan. Keawetan dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami perendaman pada campuran aspal porus yang diukur dengan hasil pengujian *Index of Retained Strength* yang mengalami peningkatan. Kemampuan menahan gaya tarik pada campuran aspal porus yang diukur dengan hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* yang mengalami peningkatan tetapi tidak signifikan. Hasil pengujian permeabilitas menunjukkan campuran aspal porus menjadi meningkat dengan dikategorikan drainase sedang. Kemampuan campuran menahan benturan dengan hasil pengujian *Cantabro* mengalami peningkatan dengan peningkatan substitusi *oil sludge*.

Kata kunci : *Oil Sludge*, Aspal Porus, Karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, Permeabilitas, *Asphalt Flow Down*, *Cantabro*.

ABSTRACT

Types of porous asphalt pavement is still very rarely applied in the field especially in Indonesia is still very rare. Porous asphalt pavement is generally still complained about the low value depends on the stability and the quality of the asphalt as a binder aggregate. Efforts to improve the stability and quality of the asphalt mix it needed the added material or the like. Utilization of waste material of refined oil and gas PT.Pertamina as a mixture of pavement can be an alternative solution in order to increase the value of the material so it can be used more leverage for pavement construction commonly called oil sludge. The purpose of this study to determine changes in the physical properties of the asphalt after the substitution of oil sludge and how large the effect of oil sludge from Pertamina Cilacap on a mixture of asphalt pavement porous as a substitute for asphalt against Marshall characteristics, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, permeability, Asphalt Flow Down and Cantabro.

In this research, five stages, namely the first stage of testing material properties consist of testing aggregates, asphalt and residual bitumen / oil sludge. The second stage is to determine the optimum bitumen content on porous asphalt mixture. The third stage and perform penetration testing on asphalt with a softening point of substitution oil sludge. The fourth phase Marshall test, test Immersion, Indirect Tensile Strength test, permeability test, test Asphalt Flow Down, and test Cantabro. The fifth stage is the analysis, discussion and conclusions of the results of the testing that has been done.

The results showed that the oil sludge affect the physical properties of the asphalt with a penetration index value increasing because of the rising value of penetration and softening point of the asphalt. Marshall Tests showed that the substitution of oil sludge can be used as material in road pavement only to the extent of 7,7% substitution. The test results show that the Marshall load bearing ability of the mixture is reduced but flexibility is also diminishing, it is measured by the value stability and value flow declined significantly decreased. Marshall Quotient value, VITM and VMA decline is not significant, and VFWA increased. Durability in maintaining stability after experiencing immersion in porous asphalt mix as measured by the test results of Retained Strength Index that have increased. The ability to withstand tensile force on porous asphalt mixture as measured by the test results Indirect Tensile Strength is increased but not significantly. The test results show the permeability of porous asphalt mix to be increased with drainage being categorized. Mixed ability withstand collisions with the test results Cantabro decreased with increased substitution of oil sludge.

Keywords : Oil Sludge, Asphalt Porus, Marshall characteristics, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, permeability, Asphalt Flow Down, Cantabro.

DAFTAR ISI

Judul	i
Persetujuan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
DAFTAR ISTILAH	xx
ABSTRAK	xxiv
<i>ABSTRACT</i>	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN	3
1.5 BATASAN PENELITIAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 ASPAL PORUS	5
2.2 BAHAN TAMBAH PERKERASAN ASPAL	7
2.3 RESIDU ASPAL/ <i>OIL SLUDGE</i>	8
2.4 PERSAMAAN DAN BERBEDAAN DENGAN PENELITIAN TERDAHULU	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 ASPAL PORUS	12
3.2 AGREGAT	13

3.3	ASPAL	19
3.4	RESIDU ASPAL / <i>OIL SLUDGE</i>	22
3.5	PARAMETER <i>MARSHALL TEST</i>	23
3.5.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	24
3.5.2	Kelelehan (<i>Flow</i>)	25
3.5.3	<i>Marshall Quotient</i>	26
3.5.4	<i>VITM (Void in the Total Mix)</i>	27
3.5.5	<i>VFWA (Void Filler With Ashpalt)</i>	28
3.5.6	<i>VMA (Void in Mineral Agregate)</i>	29
3.5.7	Kepadatan (<i>Density</i>)	30
3.6	<i>PENETRATION INDEX (PI)</i>	31
3.7	<i>IMMERSION TEST</i>	32
3.8	<i>INDIRECT TENSILE STRENGTH TEST (ITS)</i>	33
3.9	PERMEABILITAS	34
3.10	<i>ASHPALT FLOW DOWN (AFD)</i>	35
3.11	<i>CANTABRO TEST</i>	36
3.12	ANALISIS STATISTIK	37
BAB 1V METODE PENELITIAN		39
4.1	METODE PENELITIAN	39
4.2	METODE PENGAMBILAN SAMPEL	39
4.3	METODE PENGAMBILAN DATA	40
4.4.1	Pengujian Bahan	41
4.4.2	Peralatan Penelitian	43
4.4.3	Tempat dan Waktu Penelitian	44
4.5	JUMLAH BENDA UJI	44
4.6	PERENCANAAN CAMPURAN	45
4.6.1	Pengujian <i>Marshall</i> Standar	46
4.6.2	Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	46
4.6.3	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	47
4.6.4	Pengujian Permeabilitas	48
4.6.5	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	48

4.6.6	Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	48
4.6.7	Pengujian Penetrasi dan Titik Lembek Aspal dengan Penambahan Substitusi Residu Aspal/ <i>Oil Sludge</i>	49
4.7	RENCANA ANALISIS DATA	49
4.7.1	Karakteristik <i>Marshall</i>	49
4.7.2	<i>Penetration Index</i> (PI)	50
4.7.3	Durabilitaas	50
4.7.4	Kuat tarik tak langsung (<i>ITS</i>)	51
4.7.5	Permeabilitas	51
4.7.6	<i>Asphalt Flow Down</i> (<i>AFD</i>)	51
4.7.7	<i>Contabro Test</i>	51
4.7.7	Analisis Statistik	51
4.8	BAGAN ALIR PROSES PENELITIAN	52
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		53
5.1	HASIL PENELITIAN	53
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	53
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal dengan <i>Oil Sludge</i>	54
5.1.3	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	55
5.1.4	Gradasi Agregat untuk Campuran	56
5.1.5	Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum	59
5.1.7	Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> Pertamina pada Kadar Aspal Optimum	63
5.2	PEMBAHASAN	67
5.2.1	Karakteristik Aspal	67
5.2.2	Tinjauan Karakteristik <i>Marshall</i> Standar	71
5.2.2	Tinjauan Karakteristik <i>Cantabro</i> Standar	82
5.2.3	Tinjauan Karakteristik <i>Asphalt Flow Down</i> Standar	83
5.2.4	Tinjauan Karakteristik <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum	84
5.2.5	Tinjauan Karakteristik <i>Immersion Test</i>	94
5.2.6	Tinjauan Karakteristik <i>Cantabro Test</i>	97

5.2.7	Tinjauan Terhadap Karakteristik <i>Asphalt Flow Down Test</i>	98
5.2.8	Tinjauan Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength</i> pada kadar Aspal Optimum	100
5.2.9	Tinjauan Karakteristik Permeabilitas <i>Test</i>	101
5.3	Tinjauan Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	103
BAB VI SIMPULAN & SARAN		105
6.1	SIMPULAN	105
6.2	SARAN	106
DAFTAR PUSTAKA		107
LAMPIRAN		110



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Persyaratan Agregat Kasar	14
Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Halus	15
Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus AAPA (2004)	18
Tabel 3.4 Persyaratan AC 60/70, Spesifikasi Bina Marga	21
Tabel 3.5 Tebal Nominal Minimum Campuran Aspal Laston	22
Tabel 3.6 Kandungan <i>Oil Sludge</i> Pertamina	23
Tabel 3.7 Ketentuan Campuran Aspal Porus	24
Tabel 3.8 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas	35
Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	44
Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji untuk pengujian <i>Immersion</i> , <i>ITS</i> , Permeabilitas, dan <i>Cantabro</i>	45
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian AC 60/70	53
Tabel 5. 2 Hasil pengujian residu aspal / <i>oil sludge</i>	53
Tabel 5. 3 Hasil pengujian Pen 60/70	54
Tabel 5. 4 Hasil pengujian Pen 60/70 dengan substitusi <i>oil sludge</i> 10%	55
Tabel 5. 5 Hasil pengujian Pen 60/70 dengan substitusi <i>oil sludge</i> 20%	55
Tabel 5. 6 Rekap hasil pengujian viskositas aspal	55
Tabel 5. 7 Rekap hasil pengujian penetrasi aspal	55
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Agregat Kasar	56
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Agregat Halus	56
Tabel 5.10 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 5,0%	57
Tabel 5. 11 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 5,5%	57
Tabel 5. 12 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 6%	58
Tabel 5. 13 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 6,5%	58
Tabel 5. 14 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 7%	59
Tabel 5. 15 Hasil pengujian <i>Marshall</i> pada masing-masing campuran untuk mencari KAO	60

Tabel 5. 16 Hasil pengujian <i>Cantabro</i> pada masing-masing campuran untuk mencari KAO	60
Tabel 5. 17 Hasil pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> pada masing-masing campuran untuk mencari KAO	61
Tabel 5. 18 Jumlah Agregat pada Kadar Aspal Optimum 5,3%	63
Tabel 5. 19 Hasil Uji <i>Marshall</i> Pada KAO	64
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i>	64
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	64
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas	65
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	66
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Cantabro</i>	66
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Data Uji Statistik Anova untuk Karakteristik <i>Marshall</i>	67
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Data Uji Statistik Anova untuk <i>Immersion, ITS, Permeabilitas, AFD dan Cantabro</i>	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gradasi Agregat Aspal Porus AAPA (2004)	18
Gambar 3.2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas.	25
Gambar 3.3 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Kelelahan (<i>Flow</i>)	26
Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	27
Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	28
Gambar 3.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	29
Gambar 3.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	30
Gambar 3.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	31
Gambar 5. 1 Grafik Hubungan antara Nilai <i>VITM</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal	61
Gambar 5. 2 Grafik Hubungan antara Nilai <i>Cantabro</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal	62
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan antara Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal	62
Gambar 5. 4 Grafik hubungan antara Temperatur dengan Nilai Kekentalan Kinematik	68
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai Penetrasi	69
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Titik Lembek	70
Gambar 5. 7 Grafik Hubungan antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai Indeks Penetrasi	71
Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas	72
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Flow</i>	74
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Marshall Quotient</i>	75
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>VITM</i>	77
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>VFWA</i>	78
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>VMA</i>	80
Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Density</i>	81

Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Cantabro</i>	82
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Asphalt Flow Down</i>	83
Gambar 5.17 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai Stabilitas	85
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai <i>Flow</i>	86
Gambar 5.19 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai <i>Marshall Quotient</i>	88
Gambar 5.20 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> Aspal dengan Nilai <i>VITM</i>	89
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> Aspal dengan Nilai <i>VFWA</i>	91
Gambar 5.22 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> Aspal dengan Nilai <i>VMA</i>	92
Gambar 5.23 Grafik Hubungan Antara <i>Oil Sludge</i> Aspal dengan Nilai <i>Density</i>	93
Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Kadar <i>Oil Sludge</i>	95
Gambar 5.25 Grafik Hubungan Nilai <i>IRS</i> dengan Kadar Substitusi <i>Oil Sludge</i>	96
Gambar 5. 26 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai <i>Cantabro</i>	97
Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai <i>Asphalt Flow Down</i>	99
Gambar 5. 28 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai <i>ITS</i>	100
Gambar 5.29 Grafik Hubungan Antara Kadar <i>Oil Sludge</i> dengan Nilai Permeabilitas	102
Gambar 5. 30 Penentuan Kadar <i>Oil Sludge</i> yang dapat digunakan	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	109
Lampiran 2.	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	110
Lampiran 3.	Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	111
Lampiran 4.	Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Pen 60/70	112
Lampiran 5.	Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam CCL4 / TCE	113
Lampiran 6.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	114
Lampiran 7.	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Oil Sludge</i>	115
Lampiran 8.	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	116
Lampiran 9.	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70	117
Lampiran 10.	Pemeriksaan Keausan Agregat	118
Lampiran 11.	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	119
Lampiran 12.	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	120
Lampiran 13.	Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70	121
Lampiran 14.	Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 10%	122
Lampiran 15.	Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 20%	123
Lampiran 16.	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 10%	124
Lampiran 17.	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 20%	125
Lampiran 18.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 5%	126
Lampiran 19.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 10%	127
Lampiran 20.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 15%	128

Lampiran 21. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i> 20%	129
Lampiran 22. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk KAO	130
Lampiran 23. Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> untuk KAO	132
Lampiran 24. Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> untuk KAO	133
Lampiran 25. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	134
Lampiran 26. Hasil Pengujian <i>Immersion</i> dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	136
Lampiran 27. Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> dengan substitusi <i>Oil Sludge</i>	138
Lampiran 28. Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	139
Lampiran 29. Hasil Pengujian <i>ITS</i> dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	140
Lampiran 30. Hasil Pengujian Permeabilitas dengan Substitusi <i>Oil Sludge</i>	141
Lampiran 31. Hasil Analisis Stabilitas dengan Anova	142
Lampiran 32. Hasil Analisis <i>Flow</i> dengan Anova	143
Lampiran 33. Hasil Analisis <i>MQ</i> dengan Anova	144
Lampiran 34. Hasil Analisis <i>VITM</i> dengan Anova	145
Lampiran 35. Hasil Analisis <i>VFWA</i> dengan Anova	146
Lampiran 36. Hasil Analisis <i>VMA</i> dengan Anova	147
Lampiran 37. Hasil Analisis <i>Density</i> dengan Anova	148
Lampiran 38. Hasil Analisis <i>IRS</i> dengan Anova	149
Lampiran 39. Hasil Analisis <i>ITS</i> dengan Anova	150
Lampiran 40. Hasil Analisis Permeabilitas dengan Anova	151
Lampiran 41. Hasil Analisis <i>Asphalt Flow Down</i> dengan Anova	152
Lampiran 42. Hasil Analisis <i>Cantabro</i> dengan Anova	153
Lampiran 43. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal dan <i>Oil Sludge</i>	154
Lampiran 44. Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal	155
Lampiran 45. Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal	156
Lampiran 46. Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	157
Lampiran 47. Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE	158

Lampiran 48. Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	159
Lampiran 49. Gambar Alat Pemeriksaan Viskositas Aspal	160
Lampiran 50. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	161
Lampiran 51. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	162
Lampiran 52. Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal	163
Lampiran 53. Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat	164
Lampiran 54. Gambar Alat Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	165
Lampiran 55. Gambar Alat Analisis Saringan	166
Lampiran 56. Gambar Alat Pembuatan Sampel	167
Lampiran 57. Gambar Alat Pengujian <i>Marshall</i> dan <i>Immersion</i>	168
Lampiran 58. Gambar Alat Pengujian <i>ITS</i>	169
Lampiran 59. Gambar Alat Pengujian Permeabilitas	170
Lampiran 60. Gambar Alat Pengujian <i>Cantabro</i>	171
Lampiran 61. Gambar Alat Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	172
Lampiran 62. Gambar <i>Oil Sludge</i> PT.Pertamina Cilacap	173
Lampiran 63. Gambar Sampel Penelitian	174
Lampiran 64. Tabel Konstanta A0	175
Lampiran 65. Pemeriksaan Kelarutan <i>Oil Sludge</i> dalam CCL4 / TCE	176

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- a = Prosentase aspal terhadap batuan (%)
- b = Prosentase aspal terhadap campuran (%)
- c = Berat kering sebelum direndam (gr)
- d = Berat benda uji jenuh SSD (gr)
- e = Berat benda uji didalam air (gr)
- f = Volume benda uji (cc)
- g = Berat isi sampel (gr/cc)
- h = Berat jenis maksimum teoritis campuran
- i = Prosen aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis aspal (%)
- j = Prosentase hasil pengurangan 100 dengan prosentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis agregat (%)
- k = Jumlah kandungan rongga (%)
- l = Rongga terhadap agregat (VMA) (%)
- m = Rongga terisi aspal (VFWA) (%)
- n = Rongga dalam campuran (VITM) (%)
- o = Nilai pembacaan arloji stabilitas
- p = Nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi *proving ring*
- q = Stabilitas (kg)
- r = *Flow* (mm)
- t = Tebal benda uji (cm)

- s = Angka koreksi tebal benda uji
 S_1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
 S_2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam
 P_{runtuh} = Beban puncak (kg)
 h = Tinggi sampel (cm)
 A_0 = Konstanta (tabel A_0 terlampir pada lampiran)
 k = koefisien permeabilitas air (cm/dtk)
 a = luas potongan melintang tabung (cm³)
 L = tebal spesimen (cm)
 A = luas potongan spesimen (cm²)
 t = berat jenis air (gr/cm³)
 h_1 = tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
 h_2 = tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)
 M_o = berat sebelum diabrasi (gram)
 M_i = berat setelah diabrasi (gram)
 L = Persentase kehilangan berat (%)
 m_1 = berat cetakan berupa nampan (gr)
 m_2 = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr)
 m_3 = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada aluminium foil (gr).

DAFTAR ISTILAH

Agregat	: Sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.
Agregat Halus	: Butiran yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).
Agregat Kasar	: Butiran yang tertahansaringan No. 8 (2,36 mm).
Aspal	: Bahan padat atau semi padat yang merupakan senyawa hidrokarbon, berwarna cokelat gelap atau hitam pekat yang tersusun atas <i>aspaltenes</i> , <i>maltenes</i> , dan <i>oil</i> .
<i>Asphalt Cement</i>	: Aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang.
<i>Asphalt Concrete</i>	: Lapisan aspal beton.
<i>Asphaltnes</i>	: Material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam <i>heptanes</i> .
<i>Asphalt Flow Down</i>	: Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai aspal yang meleleh dan terpisah dari campuran.
Bahan Pengisi / <i>Filler</i>	: Butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
<i>Bleeding</i>	: Naiknya aspal kepermukaan.
<i>Cantabro Test</i>	: Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin <i>Los Angeles</i> .
Daktilitas	: Keuletan, nilai elastisitas aspal.

Deformasi	: Perubahan bentuk suatu perkerasan setelah menerima beban.
<i>Density</i>	: Kepadatan, berat campuran yang diukur tiap satuan volume.
Durabilitas	: Kemampuan lapisan perkerasan menahan keausan dari pengaruh cuaca, air, dan suhu serta gesekan roda kendaraan.
Film Aspal	: Selimut aspal, tebal lapisan aspal yang menyelimuti agregat.
Fleksibilitas	: Kelenturan, kemampuan beton aspal untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.
<i>Flexible Pavement</i>	: Perkerasan Lentur, perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahanikat.
<i>Flow</i>	: Kelelehan plastis, perubahan bentuk suatu campuran akibat suatu beban sampai batas runtuh, yang dinyatakan dalam satuan milimeter.
Gradasi	: Susunan butir agregat sesuai ukurannya.
<i>Immersion Test</i>	: Pengujian perendaman untuk mencari rasio nilai stabilitas.
<i>Index of Retained Strength</i>	: Indeks perendaman, rasio nilai stabilitas terhadap rendaman standar 0,5 jam.
<i>Indirect Tensile Strength Test</i>	: Pengujian untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik.
Kadar Aspal Optimum	: Kadar aspal tengah dari rentang gradasi padas pesifikasi gradasi agregat.

Laston	: Lapisan Aspal Beton, beton aspal bergradasi menerus.
<i>Marshall Test</i>	: Pengujian untuk mengetahui nilai stabilitas dan nilai kelelahan plastis.
<i>Marshall Quotient</i>	: Hasil bagi dari stabilitas dan <i>flow</i> .
<i>Maximum density line</i>	: Garis gradasi dimana kondisi campuran memiliki kepadatan maksimum dengan rongga diantara mineral agregat (<i>VMA</i>) yang minimum.
<i>Maximum size</i>	: Satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum dimana agregat yang lolos saringan sebanyak 100%.
<i>Oil Sludge</i>	: Bahan sisa pengolahan minyak bumi atau residu aspal
Permeabilitas	: Kemampuan lapis perkerasan untuk mengalirkan air
<i>Rigid Pavement</i>	: Perkerasan kaku, perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan ikat.
<i>Sand Equivalent</i>	: Pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kadar debu yang menyerupai lempung pada agregat halus.
<i>Skid Resistance</i>	: Tahanan geser, kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip.
Stabilitas	: Kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur, dan <i>bleeding</i> .

- VFWA* : Volume aspal yang dapat mengisi rongga yang ada dalam campuran, dinyatakan dalam % volume.
- Viskositas : Kekentalan aspal.
- VITM* : Volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam % volume.
- VMA* : Volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dalam campuran perkerasan, dinyatakan dalam % volume.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Jaringan jalan yang ada di suatu daerah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi daerah tersebut. Peningkatan perekonomian yang ada di Indonesia berkembang begitu pesat, dengan ditandai bertambahnya industri yang ada, yang menyebabkan peningkatan volume transportasi. Pembangunan Infrastruktur harus dilakukan untuk menunjang perkembangan ekonomi tersebut, diantaranya adalah fasilitas jalan raya. Banyak faktor yang dapat mengurangi kinerja jalan sebagai sarana transportasi, antara lain ialah ketika musim penghujan saat ini banyak jalan yang tergenang air. Genangan air yang terjadi berdampak pada transportasi darat dan infrastruktur jalan. Infrastruktur jalan dapat mengalami kerusakan (*distress*) seperti perubahan bentuk permukaan jalan akibat adanya genangan air di atasnya, sehingga material penyusun perkerasan sangat berpengaruh pada kekuatan dan daya tahan perkerasan tersebut terhadap beban lalu lintas.

Jenis perkerasan aspal porus tergolong baru dan masih sangat jarang diaplikasikan di lapangan, terlebih di Indonesia ini masih sangat jarang. Teknik pelapisan permukaan jalan yang sangat inovatif, karena mudah meloloskan air masuk ke lapis atas (*wearing course*) secara vertikal dan horizontal melalui pori-pori udara kapiler atau dengan menggunakan saluran samping dan lapis perkerasannya sebagai sistem drainase. Aspal porus merupakan campuran aspal yang dikembangkan pada konstruksi aspal perkerasan *wearing course* / AC-WC . Bukti aspal porus sangat baik untuk melapisi jalan yaitu sangat efektif untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas jalan raya pada kondisi cuaca yang sangat buruk (hujan deras dan licin), mengurangi *hydroplaning* dan mempunyai *skid resistance* yang baik. Selain kelebihan yang dimiliki juga memiliki kelemahan-kelemahan, antara lain memiliki stabilitas dan durabilitas yang rendah. Penelitian-penelitian tentang aspal porus umumnya masih mengeluhkan rendahnya nilai stabilitas dan sangat tergantung dari mutu aspal sebagai bahan pengikat agregat. Untuk menaikkan stabilitas serta mutu campuran aspal maka dibutuhkan bahan tambah atau semacamnya. Salah satu

alternatif adalah dengan pemanfaatan bahan–bahan lain yang dapat dijadikan sebagai bahan tambah, diantaranya adalah pemanfaatan bahan sisa seperti *oil sludge*.

Pemanfaatan material sisa pengolahan minyak bumi dan gas Pertamina sebagai campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam meningkatkan nilai guna, terutama bahan yang sulit terurai di dalam tanah. Salah satu material tersebut adalah *oil sludge*. Dengan demikian, *oil sludge* yang merupakan bahan sisa dari pengolahan minyak bumi dapat dimanfaatkan dengan lebih maksimal untuk konstruksi perkerasan jalan. Mulyono dan Legowo (2000) menyatakan pengujian *Marshall* terhadap bahan yang dihasilkan menunjukkan bahwa komposisi lumpur berminyak hingga 5% masih dapat memenuhi persyaratan material jalan. Pada penelitian ini, akan digunakan *oil sludge* sebagai bahan *substitusi* pada campuran aspal porous. Dengan informasi tersebut, sebagai upaya peningkatan kualitas campuran aspal, penyusun mencoba menggunakan bahan tambah / *substitusi* berupa *oil sludge* pada campuran aspal porous. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *oil sludge* dari Pertamina Cilacap pada campuran perkerasan aspal porous sebagai *substitusi* aspal. Bila hasil penelitian ini memenuhi kriteria perkerasan dan dapat meningkatkan stabilitas serta mutu campuran perkerasan, maka diharapkan *oil sludge* tersebut dapat digunakan sebagai bahan *additive* pada campuran perkerasan aspal porous.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh *substitusi oil sludge* terhadap sifat fisik aspal?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *oil sludge* pada campuran aspal porous terhadap karakteristik *Marshall* dan durabilitas campuran aspal porous?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *oil sludge* pada campuran aspal porous terhadap *ITS* campuran aspal porous?
4. Bagaimana pengaruh penambahan *oil sludge* pada campuran aspal porous terhadap permeabilitas campuran aspal porous?
5. Bagaimana pengaruh penambahan *oil sludge* pada campuran aspal porous terhadap ketahanan campuran aspal porous terhadap abrasi dengan pengujian *cantabro*?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut .

1. Mengetahui sifat fisik aspal akibat *substitusi oil sludge*.
2. Mengetahui karakteristik *Marshall* dan durabilitas aspal porus terhadap penambahan *oil sludge* sebagai *substitusi* aspal.
3. Mengetahui *ITS* aspal porus terhadap penambahan *oil sludge* sebagai *substitusi* aspal.
4. Mengetahui permeabilitas aspal porus terhadap penambahan *oil sludge* sebagai *substitusi* aspal.
5. Mengetahui ketahanan terhadap abrasi dengan pengujian *cantabro*.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh sebagai berikut.

1. Manfaat teoritis adalah memperluas pengetahuan dan pemahaman tentang teknologi perkerasan lentur terhadap karakteristik campuran khususnya pada aspal porus.
2. Residu aspal/ *oil sludge* untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah sebagai *substitusi* pada campuran aspal porus.
3. Meningkatkan nilai guna residu aspal/ *oil sludge*.
4. Menambah variasi bahan tambah *substitusi* pada campuran aspal porus.

1.5 BATASAN PENELITIAN

Batasan – batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut .

1. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT.Pertamina Cilacap.
2. *Oil sludge* diperoleh dari PT.Pertamina Cilacap.
3. Jenis campuran yang dipakai adalah perkerasan aspal porus.
4. Spesifikasi aspal porus sesuai standar *Australian Asphalt Pavement Association* (2004).
5. Material yang digunakan sebagai agregat dan *filler* berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
6. Bahan tambah atau *substitusi* yang digunakan adalah residu aspal/ *oil sludge*.

7. Pengujian kimia terhadap material residu aspal/ *oil sludge* tidak dilakukan dalam penelitian ini.
8. Variasi kadar aspal yang dipakai adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari berat campuran.
9. Variasi kadar residu aspal/ *oil sludge* dipakai adalah 0%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, dari berat aspal.
10. Analisis karakteristik campuran yang dilakukan pada penelitian ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan di laboratorium dan dibahas sesuai teori serta dibandingkan dengan spesifik



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ASPAL PORUS

Aspal porus adalah jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28-32%) dengan tetap menjaga kadar aspal campuran sehingga tidak menimbulkan floating maupun bleeding (Setyawan dan Hasan, 2002). Penelitian terdahulu mengenai perkerasan aspal porus telah banyak dilakukan dengan berbagai variasi jenis penelitian yang berbeda seperti pada beberapa penelitian berikut.

Putranto (2011) telah melakukan penelitian berjudul Penggunaan Material Galian Dari Desa Koripan, Matesih Untuk Pembuatan Aspal Porous. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik aspal porus dengan agregat material galian dari Desa Koripan dan membandingkannya dengan nilai karakteristik aspal porous dengan agregat batu pecah Masaran. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai kadar aspal optimum 3,7% dengan nilai karakteristik *Marshall* yaitu, nilai stabilitas sebesar 271,04 kg, nilai porositas sebesar 34,33%, Densitas 1,58 gr/cm³, *Flow* 2,71 mm, dan *Marshall Quotient* sebesar 104,73 kg/mm. Perbandingan nilai karakteristik antara campuran aspal porous dengan agregat Koripan dengan campuran aspal porous agregat batu pecah Masaran didapat nilai stabilitas campuran aspal porous agregat Koripan lebih besar 1,23%, nilai kuat tarik tidak langsung (*ITS*) 177,42 kPa lebih kecil 39,1%, nilai kuat desak (*UCS*) 1517 kPa lebih kecil 9,25 %, koefisien permeabilitas horisontal 0,2911 cm/dt lebih kecil 7,03% , dan koefisien permeabilitas vertikal 0,4029 cm/dt lebih besar 26,98%. Dari hasil uji homogenitas, untuk nilai *UCS*, *ITS*, dan permeabilitas pada campuran aspal porus agregat koripan dengan aspal porus agregat batu pecah diperoleh pernyataan bahwa kedua campuran termasuk homogen atau tidak memiliki perbedaan.

Saleh dan Anggraini (2014) meneliti tentang karakteristik campuran aspal porus dengan *substitusi styrofoam* yang berjudul Karakteristik Campuran Aspal

Porus dengan *Substitusi Styrofoam* pada Aspal Penetrasi 60/70. Penelitian tersebut bertujuan untuk memanfaatkan limbah *styrofoam* untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai bahan pengikat beton aspal serta mengetahui karakteristik campuran aspal porus dengan *substitusi styrofoam* ke dalam aspal penetrasi 60/70. Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5% sebelum disubstitusi *styrofoam*. Selanjutnya dilakukan pengujian dan perhitungan parameter *Marshall*, *Contabro Loss (CL)* dan *Asphalt Flow Down (AFD)* untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Setelah KAO diperoleh, dibuat benda uji pada KAO dan variasi $\pm 0,5$ dari nilai KAO dengan variasi substitusi *styrofoam* 5%, 7% dan 9%. Uji permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh KAO sebesar 5,76% dan kadar aspal terbaik pada 6,26% dengan substitusi *styrofoam* 9%, dimana semua parameter nya telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan kecuali nilai stabilitas yang hanya 495,92 kg atau sedikit dibawah spesifikasi yang disyaratkan *Australian Asphalt Pavement Association* (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimum 500 kg.

Prawiro dan Nugraha (2014) melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum limbah beton yang digunakan sebagai agregat kasar pada campuran aspal porus dan kadar aspal optimumnya. Adapun metode penelitian yang digunakan yaitu dengan menggunakan standar gradasi Aspal Porus California dan Bina Marga. Digunakan variasi proporsi agregat kasar antara batu pecah/limbah beton 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 dan variasi kadar aspal 5%, 6%, 7%, 8%, 9%. Kemudian digunakan variasi kadar Gilsonite 7%, 8%, 9% dan 10% dari berat aspal pada campuran optimum. Hasil yang didapat dari penelitian adalah komposisi agregat kasar optimum yaitu 0/100 (Batu pecah/limbah beton) dengan KAO 7,5%. Dan kemudian didapatkan kadar gilsonite optimum 9% pada pengujian tahap kedua. Penggunaan limbah beton dapat meningkatkan nilai stabilitas. Dari nilai stabilitas benda uji dengan batu pecah 100% yaitu sebesar 449,517 kg menjadi 659,894 kg menggunakan limbah beton 100%. Dengan penambahan Gilsonite

HMA Modifier Grade, mampu membuat nilai *voids in mix (VIM)* pada campuran aspal porus yang menggunakan limbah beton sebagai agregat kasar menjadi memenuhi syarat yang ditentukan yaitu antara 18-25%. Limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal porus juga memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai stabilitas, dilihat dari komposisi optimum yang didapat adalah campuran dengan 100% limbah beton sebagai agregat kasar dan pada penambahan gilsonite berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai stabilitas dan *VIM* perkerasan Aspal Porus.

2.2 BAHAN TAMBAH PERKERASAN ASPAL

Bahan tambah campuran perkerasan aspal digunakan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat fisik aspal dan diharapkan dapat meningkatkan mutu perkerasan jalan. Tinjauan terhadap penelitian terdahulu tentang bahan tambah yang digunakan pada perkerasan aspal dibahas pada pembahasan berikut.

Suryaman (2009) melakukan penelitian untuk berjudul Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah (*Additive*) Terhadap Karakteristik Beton Aspal. Dalam penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* dan pengaruh plastik pada campuran lapis aspal beton (LASTON). Pada campuran beton aspal dengan penambahan plastik, karakteristik *Marshall* seperti nilai *Density*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, dan *Flow* lebih rendah sedangkan *Void In The Mix (VITM)*, stabilitas dan *Marshall Quotient (QM)* cenderung meningkat daripada campuran beton aspal normal. Nilai stabilitas cenderung naik pada kadar aspal 5-6% seiring dengan penambahan kadar plastik. Nilai stabilitas tertinggi adalah 1711,8319 kg pada campuran dengan kadar aspal 6% dan kadar plastik 0,60%, sedangkan nilai stabilitas terendah adalah 1141,5983 kg pada campuran dengan kadar aspal 5% tanpa penambahan plastik. Berdasarkan persyaratan Bina Marga 1987, campuran yang memenuhi semua persyaratan karakteristik *Marshall* adalah campuran dengan kadar aspal 7% dan kadar penambahan plastik sebesar 0,45%.

Apriawan (2010) melakukan penelitian berjudul Analisis karakteristik *Marshall* pada aspal beton campuran panas dengan bahan tambah asbuton butir.

Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pola hubungan variasi campuran dengan atau tanpa bahan tambah asbuton butir dan untuk mengetahui kadar aspal optimum campuran terhadap nilai karakteristik *Marshall*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan aspal beton campuran panas yang ditambahkan asbuton butir tipe 5/20 dengan variasi 0%, 2%, 3%, 4% dan 5%. Benda uji yang digunakan masing-masing berjumlah 20 buah. Pengujian menggunakan alat *Marshall Test*, kemudian melakukan analisis regresi dan korelasi untuk mendapatkan hubungan nilai karakteristik *Marshall* dengan variasi asbuton butir. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar kadar asbuton butir yang ditambahkan akan menyebabkan nilai stabilitas, porositas dan *Marshall Quotient* semakin tinggi sedangkan nilai *Flow* dan densitas makin rendah. Hasil analisis persamaan regresi linier dari grafik *Flow* dan porositas berdasarkan spesifikasi Pekerjaan Umum 2004, didapatkan nilai batas maksimum perkiraan penggunaan asbuton butir. Untuk *flow* digunakan asbuton butir maksimum sebesar 7,93% dan untuk nilai porositas sebesar 10,01%. Dari kedua nilai tersebut digunakan nilai yang terkecil yaitu 7,93%. Nilai kadar aspal optimum campuran aspal beton dengan variasi kadar asbuton butir 0%, 2%, 3%, 4% dan 5% di peroleh nilai sebesar 5,58%; 5,63%; 5,64%; 5,69% dan 5,34%.

2.3 RESIDU ASPAL/OIL SLUDGE

Oil sludge merupakan produk limbah dari proses pengolahan minyak mentah seperti yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan, pengangkutan, penyimpanan, dan pemurnian minyak mentah dan dikategorikan sebagai limbah berbahaya dan bersifat racun (toksin) (Hermadi dkk, 2015). Beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan tentang pemanfaatan *oil sludge* seperti pada Hermadi (2015) dan Mulyono (2000) yang dijelaskan pada pembahasan berikut.

Hermadi dkk (2015) telah melakukan penelitian yang berjudul Pemanfaatan *Oily-Sludge* Sebagai Bahan Peremaja *Buton Rock Asphalt* Untuk Campuran Dingin (*Utilization Of Oily-Sludge As a Rejuvenator Of Buton Rock Asphalt For Cold Mix*). Penelitian tersebut bertujuan untuk melihat pengaruh pemakaian *oil-sludge* dalam campuran beraspal dingin dengan bahan pengikat *Buton Rock Asphalt* yang

diremajakan menggunakan *oil-sludge*. Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah pengujian di laboratorium. Hasil studi ini menunjukkan bahwa campuran dingin berbahan pengikat *Baton Rock Asphalt* yang diremajakan dengan *oil-sludge* memiliki karakteristik yang lebih baik dan campuran dingin MC-800 dari aspal pen 60. Selain itu, penggunaan *oil-sludge* dalam campuran beraspal dingin dapat menurunkan dan meniadakan kandungan logam berat kecuali *Zn* yang terlarut dalam lindi.

Mulyono dan Legowo (2000) meneliti tentang limbah lumpur minyak (*Oily Sludge*) yang berjudul Pemanfaatan Limbah Lumpur Berminyak (*Oily Sludge*) melalui Proses Solidifikasi dengan Aspal Buton untuk Pembuatan Material Jalan, telah dilakukan percobaan laboratorium untuk memanfaatkan limbah lumpur berminyak yang berasal dari kegiatan eksplorasi - eksploitasi minyak dan gas bumi melalui proses solidifikasi/stabilisasi dengan pencampuran aspal Buton di dalam reaktor *Champ* (*Combine Heating and Mixing Process*) pada suhu 140° C. Proses pemanasan yang dikenal sebagai teknik stabilisasi / solidifikasi termoplastik ini adalah proses enkapsulasi mikro yaitu mana senyawa-senyawa di dalam lumpur berminyak diikat oleh aspal. Bahan yang terbentuk kemudian dicampur dengan agregat dan dikenai proses pemadatan sehingga dihasilkan material pembuatan jalan. Pengujian *Marshall* terhadap bahan yang dihasilkan menunjukkan bahwa komposisi lumpur berminyak hingga 5% masih dapat memenuhi persyaratan material jalan.

2.4 PERSAMAAN DAN BERBEDAAN DENGAN PENELITIAN TERDAHULU

Berikut ini adalah persamaan dan perbedaan dengan penelitian terdahulu pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Putranto (2011)	Prawiro dan Nugraha (2014)	Saleh dan Anggraini (2014)	Suryaman (2009)
Judul	Penggunaan Material Galian Dari Desa Koripan, Matesih Untuk Pembuatan Aspal Porous	Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite	Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi <i>Styrofoam</i> pada Aspal Penetrasi 60/70.	Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah (<i>Additive</i>) Terhadap Karakteristik Beton Aspal.
Kadar Aspal Optimum / KAO (%)	3,7	7,5	5,76	6
Material Campuran	Agregat Koripan	Limbah Beton dan Gilsonite 9 %	<i>Strerofoam</i> 9%	Kadar Plastik 0.6 %
Stabilitas (kg)	271,04	761,347	495, 92	1711,83
Pengujian Lainnya	Nilai <i>UCS</i> = 1517kPa Dan <i>ITS</i> = 177,42 kPa Permeabilitas = 0,2911cm/det	-	Permeabilitas 0,1447 cm/det	-
Keterangan	Nilai stabilitas aspal porus dengan agregat koripan lebih besar 1,23%	Penambahan Gilsonite berpengaruh terhadap peningkatan nilai Stabilitas, <i>Flow</i> , <i>VIM</i> , <i>MQ</i>	Semakin besar persentase <i>styrofoam</i> , stabilitas campuran juga meningkat. Namun nilai stabilitas yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi <i>AAPA</i> (1997)	Nilai karakteristik <i>Marshall</i> seperti nilai <i>Density</i> , <i>VFWA</i> , dan <i>Flow</i> lebih rendah sedangkan <i>VITM</i> , Stabilitas dan <i>MQ</i> cenderung meningkat.

Pada penelitian ini terdapat kesamaan dengan beberapa penelitian terdahulu seperti pada penambahan bahan tambah / *substitusi* memiliki persamaan dengan penelitian Prawiro dan Pasca (2014), Saleh dkk (2014) namun berbeda material *substitusi* yang ditelitinya. Dalam penelitian ini juga terdapat perbedaan baik jenis penggunaan maupun bahan yang digunakan yaitu pada penelitian Putranto (2011), Suryaman (2009). Dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya digunakan pengganti agregat kasar dan juga bahan ikat yang berbeda. Dalam penelitian ini peneliti meneliti tentang perilaku pada aspal porus / aspal berongga dengan *substitusi* residu aspal / *oil sludge*. Pada penelitian yang pernah dilakukan terdahulu, bahan *substitusi* yang digunakan sebagai peremaja pada campuran aspal, sehingga penelitian yang dilakukan oleh peneliti dapat dipertanggung jawabkan keasliannya. Untuk hasil penelitian lebih lanjut dapat dilihat pada Bab selanjutnya.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 ASPAL PORUS

Aspal porus merupakan salah satu jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan. Campuran aspal porus merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur di Indonesia, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*) baik secara vertikal maupun horizontal. Kondisi ini dimungkinkan karena gradasi yang digunakan memiliki fraksi agregat kasar tidak kurang dari 85% dari volume campuran. Aspal porus merupakan campuran aspal dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai pori-pori udara berkisar 20% (Khalid dan Jimenez (1994)). Peningkatan proporsi agregat kasar dan mengurangi agregat halus dapat meningkatkan nilai rongga dalam campuran. Stabilitas *Marshall* campuran aspal porus lebih rendah dari beton aspal yang menggunakan gradasi rapat, namun meningkat bila menggunakan gradasi terbuka dan fraksi halusnya diperbanyak.

Aspal porus adalah jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28-32%) dengan tetap menjaga kadar aspal campuran sehingga tidak menimbulkan *floating* maupun *bleeding* (Setyawan dan Hasan, 2002). Aspal Porus didesain untuk meningkatkan besar koefisien gesek pada permukaan perkerasan. Aspal porous mempunyai keuntungan sebagai berikut (Nurazwar (2001) dalam Putranto (2011)).

1. Mengurangi percikan air pada roda kendaraan.
2. Faktor gesekan yang baik untuk kecepatan tinggi.
3. Mereduksi suara kendaraan bermotor.
4. Mengurangi silau yang ditimbulkan pada jalan yang permukaannya basah.

Aspal porus adalah campuran beton aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan kadar rongga udara yang tinggi. Aspal porus dipergunakan untuk lapisan permukaan jalan dan selalu dihampar di atas lapisan kedap air. Efektif untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas pada musim hujan, mengurangi percikan air dan mempunyai kekesatan permukaan yang baik pada kecepatan tinggi

(Diana, 2000). Aspal porus telah banyak digunakan di negara – negara maju seperti Belanda, Spanyol, Belgia, Inggris, Denmark, Amerika Serikat, Jepang dan Singapura.

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar, sedang agregat halus dan *filler* ditambahkan sedemikian rupa hingga tidak akan menghalangi interlock antar agregat kasar tersebut. Salah satu metode untuk menentukan gradasi agregat adalah dengan memproduksi campuran yang mempunyai densitas maksimum atau porositas minimum (Takahashi dan Partl (1999)).

3.2 AGREGAT

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Material utama pembentuk lapisan perkerasan jalan adalah agregat, yaitu 90 - 95 % dari berat campuran perkerasan berdasarkan presentase berat, atau 75 - 85 % agregat berdasarkan presentasi volume. Secara umum agregat dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai berikut.

1. Agregat kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm) Bina Marga (2010). Agregat kasar juga harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.

Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini sebagai berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407 – 2008	Maks. 12%
2	Berat Jenis	SNI 1969 : 2008	>2,5
3	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417 : 2008	Maks. 30%
4	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.		Maks. 40%
5	Penyerapan agregat terhadap air	SNI 1969 : 2008	< 3%
6	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	DoT's Pennsylvania Test	95 / 90
7	Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)	Method, PTM No.621	80 / 75
8	Pertikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 perbandingan 1:5	Maks. 10%
9	Material lolos ayakan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks.1%
10	Kelekatan Agregat terhadap aspal	SNI-06-2439-1991	>90%
Catatan : (*) 95 / 90 menunjukkan bahwa agregat kasar mempunyai muka bidang pecah atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.			

Sumber : Bina Marga (2010)

2. Agregat halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002. Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal. Agregat

halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis (%)	SNI 1970 : 2008	> 2,5
2	Penyerapan Agregat Terhadap Aspal (%)	SNI 1970 : 2008	< 3
3	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60 %
4	Kadar lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
5	Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min.45
6	Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min.40
7	<i>Sand Equivalent</i> (%)	SNI 3423 : 2008	> 50

Sumber : Bina Marga, 2010

The Ashpalt Institut dalam Sukirman (2007) membedakan agregat menjadi berikut.

1. Agregat kasar

Agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan nomor 8 (=2,36 mm) dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.

2. Agregat halus

Agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan nomor 8 (2,36 mm).

3. Bahan pengisi (*filler*)

Adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan nomor 30 (0,60 mm)

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu, perlu pemeriksaan teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah sebagai berikut.

1. Gradasi

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah dan kering (saringan basah atau saringan kering). Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat.

Distribusi ukuran agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat. Gradasi agregat dapat dikelompokkan kedalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

a. Agregat bergradasi baik,

Agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir dan disebut pula agregat bergradasi rapat. Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan menjadi :

- 1) agregat bergradasi kasar, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar, dan
- 2) agregat bergradasi halus, adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

b. Agregat bergradasi buruk

Agregat tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai nama gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti:

- 1) agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama,
- 2) agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik, dan
- 3) agregat bergradasi senjang, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya dikit sekali.

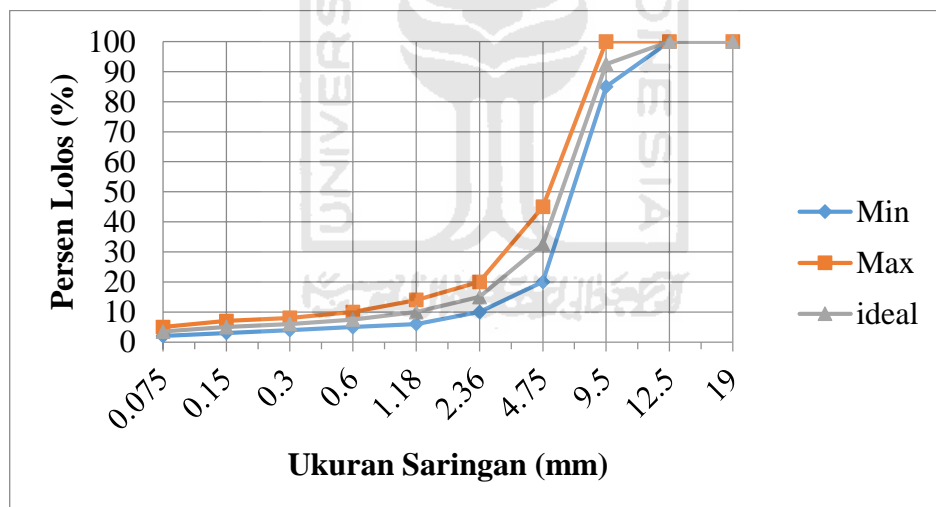
Berbagai macam gradasi aspal porus yang telah dikembangkan diberbagai lembaga penelitian di berbagai negara. Macam-macam gradasi yang telah dikenal adalah *Blackwater Valley Route (BVR)*, *British Standard (BS)*, gradasi Australia, gradasi Jepang. Gradasi yang dipergunakan pada penelitian ini untuk campuran aspal porus adalah gradasi Australia.

Campuran aspal porus menggunakan gradasi seragam (*open graded*), sehingga campuran aspal porus disebut juga *open graded asphalt*. Gradasi seragam terdiri dari agregat kasar yang banyak dan hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil. Persyaratan gradasi agregat pada campuran aspal porus seperti yang ditentukan oleh spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association 2004* dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.1 berikut.

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus AAPA (2004)

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks. 14 mm
19,00	100	100
12,70	100	85 – 100
9,53	85 - 100	45 – 70
4,76	20 - 45	10 – 25
2,38	10 – 20	7 – 15
1,19	6 – 14	6 – 12
0,595	5 - 10	5 – 10
0,297	4 – 8	4 – 8
0,149	3 – 7	3 – 7
0,074	2 – 5	2 – 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) dalam Zuliensyah (2015)



Gambar 3.1 Gradasi Agregat Aspal Porus AAPA (2004)

2. Daya tahan

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat adanya proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi, akibat pecahnya butir-butir agregat. Faktor – faktor yang sangat mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat, dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut. Daya tahan agregat terhadap beban

mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*, sedangkan daya tahan terhadap proses kimiawi diperiksa dengan pengujian *soundness*.

3. Bentuk dan tekstur

Bentuk butiran adalah faktor yang sangat penting untuk mendapatkan gaya gesek antara batuan dan perkerasan, disamping itu bentuk butiran juga berpengaruh terhadap stabilitas konstruksi perkerasan jalan. Agregat kasar terbaik yang digunakan untuk material perkerasan jalan adalah berbentuk kubus, tetapi jika tidak ada, maka agregat yang mempunyai minimal satu bidang pecahan dapat dipergunakan. Sedangkan tekstur permukaan agregat dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu sebagai berikut.

- a. Agregat licin, dan seringkali dijumpai di sungai. Permukaan agregat yang licin menghasilkan daya penguncian antar agregat rendah, dan mempunyai tingkat kestabilan rendah.
- b. Agregat kasar, mempunyai gaya gesek yang baik, ikatan antara butir agregat kuat, sehingga lebih mampu menahan deformasi akibat beban lalu lintas.
- c. Agregat berpori, dapat dibedakan menjadi berpori banyak dan sedikit. Pemeriksaan banyaknya pori agregat dapat diperkirakan dari banyaknya air yang terabsorpsi oleh agregat.

4. Kebersihan

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No.200, seperti adanya lempung, lanau. Jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah.

5. Daya lekat terhadap aspal

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Kelekatan aspal terhadap agregat dinyatakan dalam persen, yaitu persentase luas permukaan agregat yang dilapisi aspal terhadap seluruh luas permukaan.

3.3 ASPAL

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan

sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. (Sukirman, 2007).

Jenis aspal berdasarkan tempat diperolehnya dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam yaitu sebagai berikut .

1. Aspal alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung – gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi.

2. Aspal minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan pada umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

Jika dilihat dari bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan atas aspal padat, aspal cair, aspal emulsi.

1. Aspal padat / *asphalt cement*

Aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Oleh karena itu harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

2. Aspal cair / *cutback asphalt*

Aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi tiga, yaitu sebagai berikut.

- a. *Rapid curing cut back asphalt* (RC), aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
- b. *Medium curing cut back asphalt* (MC), aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah.
- c. *slow curing cut back asphalt* (SC), aspal cair dengan bahan pencair solar. Merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

3. Aspal emulsi / *emulsified asphalt*

Suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan dipabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair.

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai (Sukirman, 2007) :

1. bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta antara semen aspal, dan
2. bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Pada penelitian ini digunakan aspal AC penetrasi 60/70, persyaratan AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tebal Minimum Campuran Aspal dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Persyaratan AC 60/70, Spesifikasi Bina Marga

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3	Titik Nyala; °C	SNI 06-2433-1991	min 200
4	Kelarutan CCL ₄ , % berat	RSNI M-04-2004	min 99
5	Daktalitas 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	min 100
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0

Sumber: Bina Marga (2010)

Tabel 3.5 Tebal Nominal Minimum Campuran Aspal Laston

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Bina Marga (2010)

Sebagai bahan untuk campuran perkerasan, aspal harus mempunyai kinerja, kekuatan dan keawetan yang memadai. Sifat fisik aspal yang mempengaruhi perilaku lapis perkerasan adalah:

1. daya tahan atau keawetan (*durability*), yaitu kemampuan aspal dalam mempertahankan sifat aslinya oleh akibat pengaruh cuaca, selama masa pelayanannya,
2. peka terhadap temperatur, karena aspal bersifat termoplastik, yaitu aspal akan menjadi keras atau kental pada temperatur rendah, dan meleleh pada temperatur tinggi, dan
3. adhesi dan kohesi. Adhesi, yaitu merupakan kemampuan aspal dalam mengikat agregat campuran sehingga menghasilkan ikatan yang baik. Kohesi merupakan kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan aspal dengan aspal yang melekat pada agregat sehingga agregat tetap di tempatnya (Hardiyatmo, 2015).

3.4 RESIDU ASPAL / OIL SLUDGE

Oil sludge merupakan produk limbah dari proses pengolahan minyak mentah seperti yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan, pengangkutan, penyimpanan, dan pemurnian minyak mentah dan dikategorikan sebagai limbah berbahaya dan bersifat racun (toksin) (Hermadi dkk, 2015). Penanganan bahan ini harus sejalan dengan peraturan pemerintah /tentang lingkungan dan memperhatikan biaya yang cukup tinggi. Pada umumnya, *oil-sludge* terdiri dari tiga zat utama, yaitu minyak (*volatile dan non-volatile*), air, dan mineral (bahan sedimen).

Pada hakekatnya *oil-sludge* merupakan campuran yang tersusun atas minyak, padatan dan air yang membentuk sistem koloid yang stabil, sehingga sangat sulit

terpisahkan. Sistem koloid yang terbentuk dalam *oil-sludge* pada umumnya memiliki fase kontinu minyak. Sedangkan air dan padatan terdispersi didalamnya. Kestabilan sistem koloid *oil-sludge* ditentukan oleh jenis dan ukuran padatan, ukuran butiran air, larutan elektrolit dalam fase air, viskositas dan densitas minyak, dan kehadiran *emulsifier* alami dalam minyak (Meegoda 1993 dalam Hermadi 2015).

Oil Sludge adalah limbah minyak bumi yang mengandung unsur-unsur logam berat dan silikat yang dapat dijadikan bahan baku pembuatan keramik. Hasil analisis kandungan kimia logam berat pada *oil sludge* dapat dilihat pada tabel Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Kandungan *Oil Sludge* Pertamina

No	Parameter	Kandungan
1	Arsen (Ar)	0,18
2	Barium (Ba)	80,73
3	Boron (B)	448,64
4	Chromium (Cr)	34,69
5	Cadmium (Cd)	21,76
6	Timbal (Pb)	407,79
7	Zinkum (Zn)	142,97

Sumber: Daulay (2009)

Jenis minyak dalam *oil-sludge* bervariasi tergantung pada asal dan jenis *crude oil*, dapat dikategorikan sebagai fraksi berat dan fraksi ringan. Minyak fraksi ringan dapat terlepas ke lingkungan air maupun tanah. Bersama terlepasnya minyak maka dimungkinkan terlepas pula logam berat yang dikandungnya. Oleh karena itu *oil-sludge* dikategorikan sebagai Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Namun demikian, *oil-sludge* mungkin dapat digunakan sebagai material pengganti / *substitusi* untuk produk berbasis minyak.

3.5 PARAMETER MARSHALL TEST

Untuk memperoleh lapis perkerasan aspal porus yang baik, maka harus memenuhi karakteristik tertentu. Pengujian *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas

dan kelelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Adapun beberapa parameter *Marshall Test* antara lain : stabilitas, (*stability*), kelelehan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan kepadatan (*density*). Ketentuan atau spesifikasi dari campuran aspal porus *AAPA* seperti terlihat pada Tabel 3.7 adalah sebagai berikut.

Tabel 3.7 Ketentuan Campuran Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>Contabro Loss</i> (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran (<i>VIM</i> %)	18 – 25
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
5	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 6
6	Kekakuan <i>Marshall</i> (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) dalam Zuliansyah (2015)

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Naiknya stabilitas bertambah dengan Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi.

Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Angka stabilitas ini masih harus dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut (RSNI M-01-2003).

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

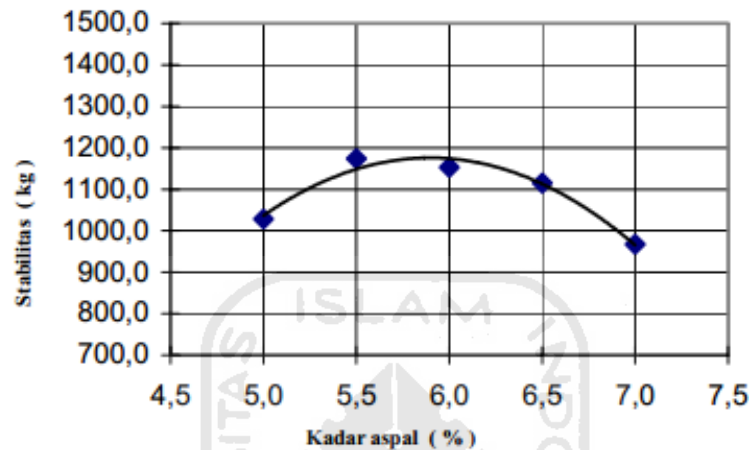
dengan :

q = stabilitas (kg)

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

s = koreksi tebal benda uji

0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg



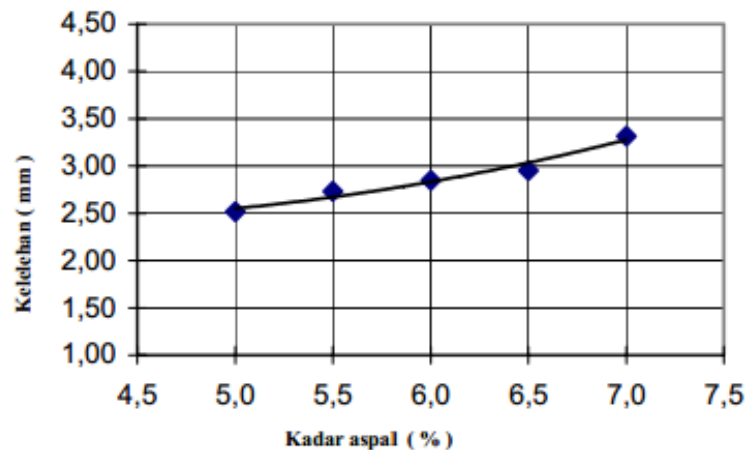
Gambar 3.2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas.

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah diatas batas maksimum akan cenderung bersifat plastis. Tapi bila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.

Angka *flow* didapatkan dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm). Adapun grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut (RSNI M-01-2003)



Gambar 3.3 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Kelelahan (*Flow*)

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.3 Marshall Quotient

Marshall quotient merupakan perbandingan antara *stability* dengan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* pada perencanaan perkerasan dengan metode *Marshall* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dilihat pada Gambar 3.4 berikut (RSNI M-01-2003).

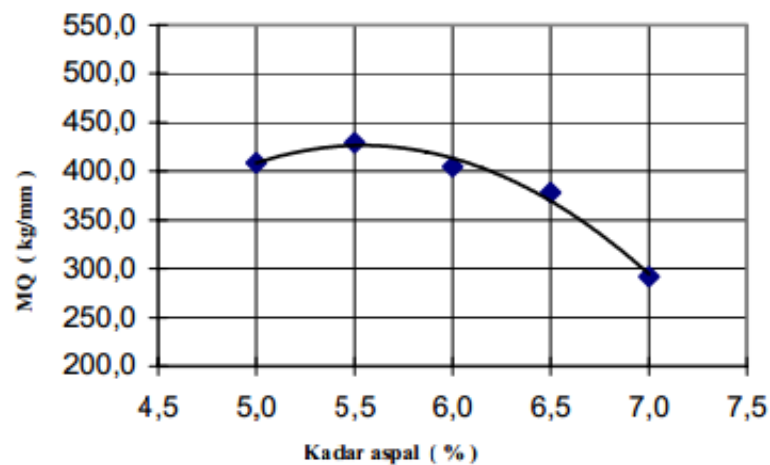
$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

dengan :

MQ = nilai *Marshall Quotient*

q = nilai stabilitas (kg)

r = nilai *flow* (mm)



Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai MQ

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.4 *VITM (Void in the Total Mix)*

Nilai *VITM* adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. *VITM* dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. *VITM* ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. *VITM* yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedapannya airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. *VITM* yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.3)$$

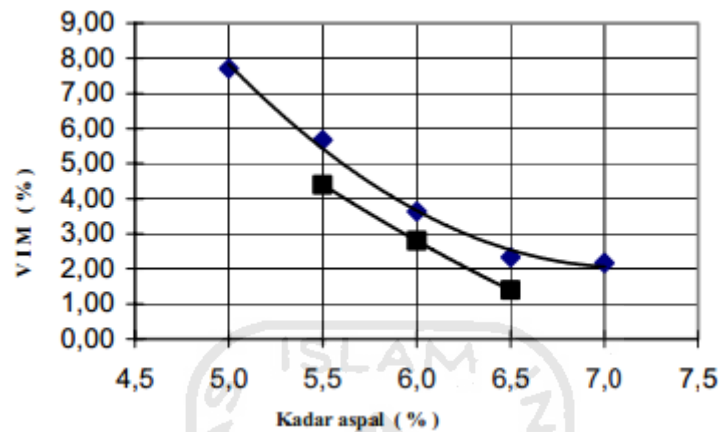
$$h = 100 - \left[\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}\right)} \right] \quad (3.4)$$

dengan :

n = nilai *VITM*

g = berat isi sampel (gr/cc)

h = berat jenis maksimum teoritis campuran



Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.5 *VFWA* (*Void Filler With Asphalt*)

Presentase pori antara butir agregat yang terisi oleh aspal dinamakan *VFWA*. Jadi, *VFWA* adalah bagian dari *VMA* yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terasorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi *VFWA* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat, atau dengan kata lain *VFWA* inilah yang merupakan presentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal.

Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.5 sampai 3.9 , sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

1. Presentase aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad (3.5)$$

dengan :

a = persentasi aspal terhadap batuan

b = persentasi aspal terhadap campuran

2. Presentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \quad (3.6)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.7)$$

$$l = 100 - j \quad (3.8)$$

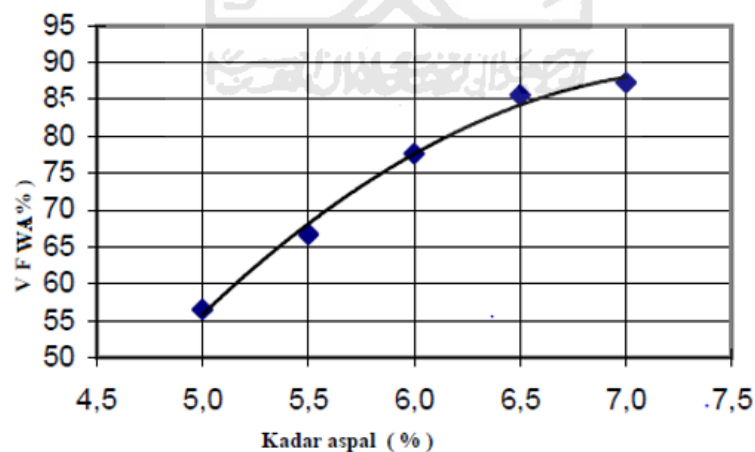
$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.9)$$

dengan :

m = VFWA (%)

g = berat isi sampel (gr/cc)

b = persentase aspal terhadap campuran



Gambar 3.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VFWA

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.6 VMA (Void in Mineral Agregate)

Nilai VMA adalah volume pori diantara butir agregat campuran dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal dan dinyatakan dalam persen terhadap

campuran. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.10 dan 3.11, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.10)$$

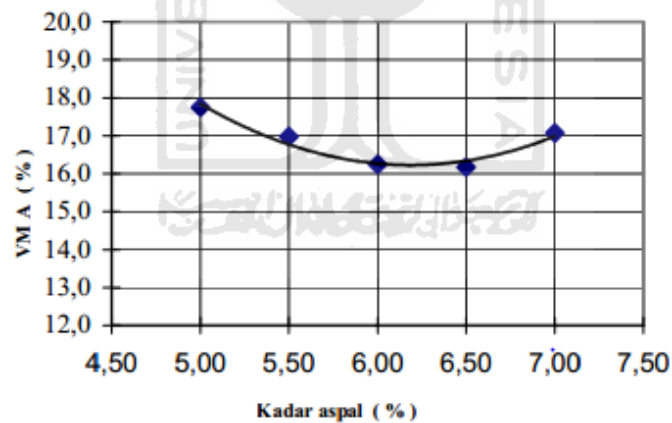
$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.11)$$

dengan :

l = nilai *VMA* (%)

b = presentase aspal terhadap campuran (%)

g = berat isi sampel (gr/cc)



Gambar 3.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.5.7 Kepadatan (*Density*)

Density menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik. Dengan semakin meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan rapat. *Density*

dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : gradasi bahan, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, dan kadar aspal.

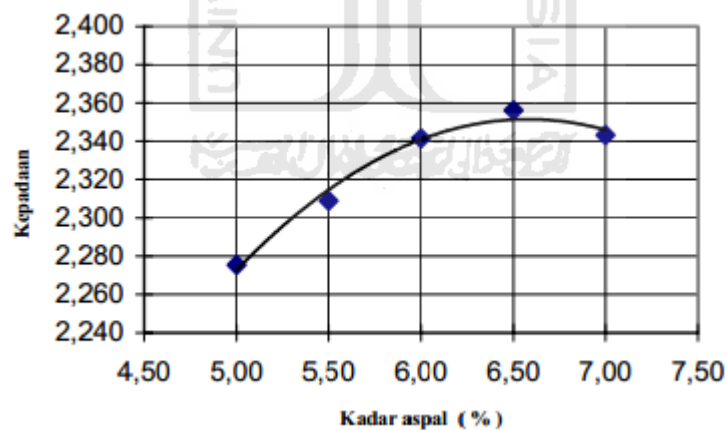
Nilai kepadatan / *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.12 dan persamaan 3.13, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.12)$$

$$f = d - e \quad (3.13)$$

dengan:

- g = nilai *density* (gr/cc)
- c = berat benda uji sebelum direndam (gr)
- d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr)
- e = berat dalam air (gr)
- f = volume / isi (cm³)



Gambar 3.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density*

(Sumber: RSNI M-01-2003)

3.6 PENETRATION INDEX (PI)

Aspal semen merupakan material termoplastik, yang konsistensinya berubah bergantung temperturnya. Kepekaan terhadap temperatur merupakan parameter yang sangat penting untuk diketahui menunjukkan nilai perubahan konsistensi aspal

dengan berubahnya temperatur aspal. Aspal yang memiliki kepekaan temperatur tinggi tidaklah diharapkan, mengingat *viskositasnya* pada suhu 135° C (275° F) dapat menjadi sangat rendah, sehingga menyebabkan kesulitan dalam pencampuran dan pemadatan, serta *viskositas* dan kekentalannya pada suhu pelayanan terendah biasanya sangat tinggi, sehingga memicu timbulnya retak-retak pada suhu rendah.

Nilai *Penetration Index* dapat dihitung dengan Persamaan 3.14 yang mendasarkan penentuan *Penetration Index* dengan angka penetrasi dan titik lembek aspal.

$$PI = \frac{1952 - 500 \log pen - 20 SP}{50 \log pen - SP - 120} \quad (3.14)$$

dengan :

PI = *penetration index*

Pen = nilai penetrasi aspal

SP = titik lembek aspal

3.7 IMMERSION TEST

Immersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Menurut AASHTO T.165-74 atau ASTM D.1075-54 (1969) ada dua metode uji perendaman *Marshall* (*immersion test*) yaitu uji perendaman selama 4 x 24 jam dengan suhu ± 50° C dan uji perendaman selama 1 x 24 jam dengan suhu ± 60° C. Pada penelitian ini dipakai metode uji perendaman (*Marshall*) selama 24 jam dan suhu konstan 60° C sebelum pembebanan diberikan.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal (*Index of retained strength*) adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam (S₂) yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasa (S₁), seperti tercantum pada Persamaan 3.15 dibawah ini.

$$\text{Index of retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.15)$$

dengan :

S_1 = stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam

Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan 75%, campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca.

3.8 INDIRECT TENSILE STRENGTH TEST (ITS)

Indikator utama yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material pada campuran aspal adalah dengan menggunakan alat *Marshall*. Tetapi di lapangan, pada saat beton aspal menerima beban kendaraan yang melintas di atasnya, beton aspal akan mendapatkan gaya tekan pada bagian atas dan akan mendapatkan gaya tarik pada bagian bawahnya. Untuk itu, kemampuan material dalam menerima gaya tarik perlu diketahui, dalam hal ini dapat menggunakan alat *Indirect Tensile Strength* atau biasa disebut *ITS*. Dengan mengetahui korelasi antara nilai *Marshall* dan *Indirect Tensile Strength* dapat diketahui apakah material yang mempunyai kemampuan memikul gaya tekan besar juga mempunyai kemampuan memikul gaya tarik besar juga.

Pengujian kuat tarik tidak langsung bertujuan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari aspal porus. *Indirect Tensile Strength Test* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pengujian hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan *proving ring* sebagai beban tetapi menggunakan *strip loading* selebar 0,5 inch.

Indirect Tensile Strength Test dilakukan dengan cara membebani sebuah sampel silinder dengan sebuah beban (dial) diletakkan di atasnya yang bekerja sejajar dan sepanjang bidang vertikal. Pembebanan ini menghasilkan kuat tarik

yang relatif merata sepanjang diameter bidang vertikal, yang mana akan menyebabkan silinder akan mengalami kerusakan yaitu terjadinya keretakan sepanjang diameter vertikal (Kennedy, 1997)

Dalam Kennedy (1997) Alasan – alasan utama kemudahan dalam pengujian *indirect tensile strength* yaitu sebagai berikut .

1. Pengujian ini relatif sederhana
2. Tipe sampel dan peralatan yang digunakan sama dengan sampel dan peralatan untuk pengujian lainnya.
3. Kerusakan dipengaruhi oleh kondisi permukaan

Indirect Tensile Strength adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban. Nilai *ITS* dapat diperoleh dari Persamaan 3.16 berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_o \quad (3.16)$$

dengan :

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm²)

P runtuh = beban puncak (kg)

h = tinggi sampel (cm)

Ao = konstanta (tabel *Ao* terlampir pada lampiran)

3.9 PERMEABILITAS

Permeabilitas merupakan tingkat derajat kerapatan konstruksi pada campuran aspal untuk dapat ditembus oleh zat cair. Permeabilitas aspal ini sangat penting untuk konstruksi dan kekuatan serta lamanya campuran aspal dapat bertahan. Semakin kecil permeabilitas aspal, maka akan semakin sedikit air yang dapat masuk ke dalam konstruksi aspal, sehingga aspal memiliki keawetan lebih panjang.

Dalam penelitian ini, tipe dari *Permeability Test* ini yaitu dengan *falling head water permeability test*. Tes permeabilitas ini merupakan sarana yang penting untuk aspal porus. Pengujian permeabilitas ini merujuk pada hukum permabilitas dengan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$k = 2,3 \frac{a \cdot L}{A \cdot T} \times \left[\log \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \right] \quad (3.17)$$

dengan :

- k = koefisien permeabilitas air (cm/dtk)
- a = luas potongan melintang tabung (cm³)
- L = tebal spesimen (cm)
- A = luas potongan spesimen (cm²)
- t = berat jenis air (gr/cm³)
- h₁ = tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
- h₂ = tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

Berdasarkan koefisien permeabilitas, campuran aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat permeabilitasnya sendiri. Mullen (1967) menetapkan pembagian campuran aspal berdasarkan permeabilitas seperti pada Tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3.8 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas

K (cm/det)	Permeabilitas
1×10^{-8}	Kedap
1×10^{-6}	Hampir Kedap
1×10^{-4}	Drainase Jelek
100×10^{-4}	Drainase Sedang
1000×10^{-4}	Drainase Baik

Sumber : Mullen (1967) dalam Putranto (2011)

3.10 ASHPALT FLOW DOWN (AFD)

Untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal, hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan tidak terjadi pemisahan aspal maka dilakukan uji *asphalt flow down (AFD)*.

Besarnya nilai *AFD* disyaratkan lebih kecil dari 0,3%, untuk menentukan nilai *AFD* digunakan uji pengaliran *asphalt flow down* seperti Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$AFD = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100\% \quad (3.18)$$

dengan :

AFD = nilai *asphalt flow down* (%)

*m*₁ = berat cetakan berupa nampan (gr)

*m*₂ = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr)

*m*₃ = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada aluminium foil (gr).

3.11 CANTABRO TEST

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang. Sebelum benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles* terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (*M_o*). Selanjutnya benda uji dimasukkan ke drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Mesin *Los Angeles* kemudian dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi (*M_i*), Persamaan 3.19 sebagai berikut. Kehilangan berat dapat dihitung sebagai berikut :

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.19)$$

dengan :

M_o = Berat sebelum diabrasi (gr)

M_i = Berat setelah diabrasi (gr), dan

L = Persentase kehilangan berat (%)

3.12 ANALISIS STATISTIK

Statistik adalah ilmu yang mempelajari cara pengumpulan, pengelolaan, penyajian dan analisis data serta cara pengambilan kesimpulan atas hasil survey. Sedangkan statistika adalah ilmu yang mempelajari bagaimana merencanakan, mengumpulkan, menganalisis, menginterpretasi, dan mempresentasikan data. Singkatnya, statistika adalah ilmu yang berkenaan dengan data. Istilah 'statistika' (bahasa Inggris: *statistics*) berbeda dengan 'statistik' (*statistic*). Statistika merupakan ilmu yang berkenaan dengan data, sedang statistik adalah data, informasi, atau hasil penerapan algoritma statistika pada suatu data. Dari kumpulan data, statistika dapat digunakan untuk menyimpulkan atau mendeskripsikan data; ini dinamakan statistika deskriptif. Sebagian besar konsep dasar statistika mengasumsikan teori probabilitas. Beberapa istilah statistika antara lain: populasi, sampel, unit sampel, dan probabilitas.

Statistika banyak diterapkan dalam berbagai disiplin ilmu, baik ilmu-ilmu alam (misalnya astronomi dan biologi maupun ilmu-ilmu sosial (termasuk sosiologi dan psikologi), maupun di bidang bisnis, ekonomi, dan industri. Statistika juga digunakan dalam pemerintahan untuk berbagai macam tujuan; sensus penduduk merupakan salah satu prosedur yang paling dikenal. Aplikasi statistika lainnya yang sekarang populer adalah prosedur jajak pendapat atau *polling* (misalnya dilakukan sebelum pemilihan umum), serta hitung cepat (perhitungan cepat hasil pemilu) atau *quick count*. Di bidang komputasi, statistika dapat pula diterapkan dalam pengenalan pola maupun kecerdasan buatan (Sugiono,2010).

Ada dua macam statistika, yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensial.

1. Statistika deskriptif berkenaan dengan bagaimana data dapat digambarkan dideskripsikan atau disimpulkan, baik secara numerik (misalnya menghitung rata-rata dan deviasi standar) atau secara grafis (dalam bentuk tabel atau grafik), untuk mendapatkan gambaran sekilas mengenai data tersebut, sehingga lebih mudah dibaca dan bermakna.
2. Statistika inferensial berkenaan dengan permodelan data dan melakukan pengambilan keputusan berdasarkan analisis data, misalnya melakukan

pengujian hipotesis, melakukan estimasi pengamatan masa mendatang (estimasi atau prediksi), membuat permodelan hubungan (korelasi, regresi, ANOVA, deret waktu), dan sebagainya.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan analisis varians (ANOVA). Analisis ini merupakan suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Analisis varian dapat dilakukan untuk menganalisis data yang berasal dari berbagai macam jenis dan desain penelitian. Secara umum, analisis varians menguji dua varians (atau ragam) berdasarkan hipotesis nol bahwa kedua varians itu sama. Varians pertama adalah varians antar contoh (*among samples*) dan varians kedua adalah varians di dalam masing-masing contoh (*within samples*). Dengan ide semacam ini, analisis varians dengan dua contoh akan memberikan hasil yang sama dengan uji-t untuk dua rerata (*mean*).

Supaya sah (*valid*) dalam menafsirkan hasilnya, analisis varians menggantungkan diri pada empat asumsi yang harus dipenuhi dalam perancangan percobaan:

1. data berdistribusi normal, karena pengujiannya menggunakan uji F-Snedecor,
2. varians atau ragamnya homogen, dikenal sebagai homoskedastisitas, karena hanya digunakan satu penduga (*estimate*) untuk varians dalam contoh,
3. masing-masing contoh saling bebas, yang harus dapat diatur dengan perancangan percobaan yang tepat, dan
4. komponen-komponen dalam modelnya bersifat aditif (saling menjumlah).

BAB 1V

METODE PENELITIAN

4.1 METODE PENELITIAN

Metode Penelitian merupakan bagian penting guna memperoleh hasil dari upaya penelitian secara keseluruhan. Kualitas penelitian yang dihasilkan tergantung pada metode penelitian yang dipilih. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental kausal baik saat pengambilan data ataupun menganalisis data. Jenis penelitian ini dapat diartikan sebagai sebuah studi objektif, sistematis dan terkontrol untuk memprediksi hasil akhir dari hasil penelitian. Penelitian eksperimental kausal bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat (*cause and effect relationship*) yaitu mempersoalkan adanya variabel bebas dan tidak bebas. Variabel bebas yang dimaksudkan adalah presentase penggunaan residu aspal / *oil sludge* sedangkan variabel tidak bebas adalah karakteristik *Marshall, ITS, durabilitas* dan *permeabilitas*. Hasilnya dibandingkan dengan dan dipaparkan dalam bentuk suatu penulisan dilengkapi dengan data-data hasil pengujian.

4.2 METODE PENGAMBILAN SAMPEL

Dalam penelitian ini, sampel residu aspal / *oil sludge* yang dipakai didapatkan dari PT. Pertamina (Persero), Cilacap . Pengambilan sampel residu aspal / *oil sludge* ini yaitu dengan dicampurkan dalam campuran aspal porus. Agregat yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Clereng, Kulon Progo dan Aspal yang digunakan diperoleh dari PT. Pertamina (Persero), Cilacap.

Pada penelitian ini pengambilan sampel dilakukan secara *nonprobability sampling*. Hal ini dilakukan karena keterbatasan penyusun, baik waktu, tenaga dan biaya penyusun. Untuk mendapatkan perkiraan yang baik harus mempunyai sampel yang dapat mewakili populasi (*representative*).

Dalam penelitian ini pengambilan sampel termasuk dalam kelompok *purposive sampling*. Arti dari *purposive sampling* adalah pengambilan sampel yang berdasarkan tujuan. Pada cara ini, siapa yang akan diambil sebagai anggota sampel

diserahkan pada pertimbangan pengumpulan data yang berdasarkan atas pertimbangannya sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian (Sukandarrumidi, 2002).

4.3 METODE PENGAMBILAN DATA

Metode dan pengambilan data dilakukan melalui beberapa prosedur untuk mendapatkan suatu simpulan dari hasil pengolahan atau analisis data-data yang diperoleh. Dalam pengambilan data diperlukan pengelompokan benda uji guna mempermudah pengisian dan pembacaan hasil pengujian campuran beton aspal, sehingga diperoleh data-data yang berupa nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, *Density*, *Marshall Quotient*, *Immersion Test*, *ITS* dan permeabilitas. Pada penelitian ini, data diperoleh dengan cara melakukan pengujian-pengujian di laboratorium. Data yang diperoleh dapat diambil dari beberapa sumber. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Data primer

Sumber primer adalah data yang diperoleh dari sumber data, yaitu dengan cara *experiment* langsung dilakukan di lokasi penelitian. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan pemeriksaan bahan.
- b. Mencari Kadar Aspal Optimum.
- c. Melakukan pengujian *Marshall*.
- d. Pengujian perendaman *Immersion*.
- e. Pengujian *Indirect Tensile Strength*.
- f. Pengujian Permeabilitas.
- g. Pengujian *Cantabro*.
- h. Pengujian *Asphalt Flow Down*.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang tidak diperoleh langsung dari sumber data. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi terkait yang berhubungan dengan

pengamatan yang dilakukan. Data sekunder ini berfungsi sebagai pendukung dari data primer.

4.4 LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Bahan-bahan untuk penelitian ini terdiri dari kombinasi agregat halus, agregat kasar dan aspal. Bahan tersebut diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pembuatan campuran aspal. Hal ini dilakukan dengan mengetahui sifat-sifat bahan, apakah telah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan atau tidak. Pengujian ini berpedoman pada metode *AASTHO* dan Bina Marga.

Urutan penelitian yang dilakukan di laboratorium terdiri dari lima tahap, penjelasannya adalah sebagai berikut.

1. Pengujian sifat material bahan perkerasan.
2. Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO),
3. Melakukan pengujian penetrasi dan titik lembek aspal dengan *substitusi* residu aspal / *oil sludge*,
4. Pembuatan sampel campuran aspal porus dengan *substitusi* residu aspal / *oil sludge* dengan berbagai macam kadar variasi yang berbeda pada KAO untuk pengujian *Marshall*, durabilitas dengan uji perendaman *Marshall*, *Indirect tensile Strength*, Permeabilitas, *Asphalt Flow Down*, dan *Cantabro*.
5. Melakukan analisis, pembahasan, dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian.

4.4.1 Pengujian Bahan

Sebelum bahan digunakan pada campuran perkerasan harus dilakukan serangkaian pengujian, antara lain sebagai berikut.

1. Pengujian agregat

Salah satu dari komponen utama dari lapis perkerasan jalan raya adalah agregat. Daya dukung, mutu, kualitas dan keawetan suatu perkerasan sangat ditentukan dari agregat. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian terhadap agregat baik terhadap agregat kasar maupun agregat halus. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*) dan berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan dari agregat halus.
- b. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal.
- c. Pengujian keausan agregat
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.
- d. Pengujian *sand equivalent*
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar debu dan lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.

2. Pengujian aspal

Untuk mengetahui kualitas aspal yang digunakan, maka perlu dilakukan pengujian-pengujian sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis aspal
Berat Jenis Aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal berguna untuk mencari berat jenis campuran aspal dan agregat, dan dalam *Marshall Test* berguna untuk menentukan *VITM*, *VFWA* dan mempengaruhi stabilitas.
- b. Pengujian penetrasi
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan penetrasi aspal (memeriksa tingkat kekerasan aspal) dengan cara memasukkan jarum ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu.
- c. Pengujian daktilitas
Maksud pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

- d. Pengujian kelarutan dalam TCE
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam TCE.
- e. Pengujian titik lembek
Pengujian ini bertujuan untuk menunjukkan temperatur aspal mengalami batas perpindahan antara bentuk padat ke cair.
- f. Pengujian titik nyala dan titik bakar
Pengujian ini bertujuan untuk menuntukkan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala) dan suhu saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).

4.4.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seperangkat alat uji pengujian fisik agregat yang meliputi mesin *Los Angeles*, saringan standar, tabung *Sand Equivalent*.
2. Seperangkat alat uji pengujian fisik aspal yang meliputi alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala, dan titik bakar aspal.
3. Seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall* yang meliputi alat tekan yang terdiri dari *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg, arloji pengukuran stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm, serta dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula, bak perendaman (*water bath*), oven.
4. Seperangkat alat uji *Immersion Test* yang meliputi alat tekan yang terdiri dari *Proving ring* berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg, arloji pengukur stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm, serta

dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula, bak perendaman (*water bath*), oven.

5. Seperangkat alat uji *Indirect Tensile Strength Test* yang meliputi alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 inch, arloji pengukuran stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm, serta dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula, bak perendaman (*water bath*), oven.
6. Seperangkat alat uji permeabilitas (*Falling Head Permeability Test*), yang meliputi tabung dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 80 cm, bak air, 2 buah *statif*, klem permeabilitas, *stopwatch*.

4.4.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboraroom Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penelitian ini dimulai tanggal Juni 2016 sampai September 2016.

4.5 JUMLAH BENDA UJI

Jumlah benda uji dibuat pada masing-masing pengujiannya disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Variasi Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji		
	<i>Marshall</i>	<i>Ashpalt Flow Down</i>	<i>Contabro</i>
5 %	3	3	3
5,5 %	3	3	3
6 %	3	3	3
6,5 %	3	3	3
7 %	3	3	3
Jumlah	15	15	15

Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji untuk pengujian *Immersion*, *ITS*, Permeabilitas, dan *Cantabro*

Variasi Kadar residu aspal / <i>oil sludge</i>	Jumlah Benda Uji					
	<i>Immersion</i>		<i>ITS</i>	Permeabi litas	<i>Cantabro</i>	<i>AFD</i>
	30 menit	24 jam				
0 %	3	3	3	3	3	3
5 %	3	3	3	3	3	3
10%	3	3	3	3	3	3
15 %	3	3	3	3	3	3
20 %	3	3	3	3	3	3
Jumlah	15	15	15	15	15	15

Sehingga jumlah total benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak 135 benda uji.

4.6 PERENCANAAN CAMPURAN

Bahan-bahan untuk penelitian ini terdiri dari agregat kasar, dan aspal yang diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran aspal porus serta sebagai material *substitusi* residu aspal / *oil sludge*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan apakah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

Setelah pengujian awal selesai, dilanjutkan proses penyaringan terhadap berbagai jenis agregat dengan saringan sebanyak sembilan buah dan pan. Sesuai dengan gradasi yang direncanakan, gradasi rencana dapat dilihat pada Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus AAPA (2004), kemudian setelah dilakukan penyaringan kemudian dilanjutkan dengan penimbangan dengan berat tertentu untuk masing-masing ukuran saringan dan jenis agregat sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan di dalam spesifikasi. Setelah semua bahan disiapkan, kemudian dilakukan pengujian *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, dan *Permeability Test*.

1. Campuran Aspal Porus Biasa
2. Campuran Aspal Porus dengan *Substitusi*

4.6.1 Pengujian *Marshall* Standar

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel,
2. Pada masing-masing benda uji diberi tanda pengenal,
3. Mengukur ketinggian benda uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm,
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya,
5. Direndam didalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air,
6. Setelah benda uji menjadi jenuh kemudian ditimbang dalam air,
7. Benda uji dilap permukaannya kemudian ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*),
8. Benda uji direndam kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 0,5 jam,
9. Kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaan diberi vaselin untuk memudahkan melepas benda uji
10. Arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada posisi diatas salah satu batang penuntun (*guide rod*),
11. Kepala penekan (*test head*)benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cicin pengunji, kemudian ditur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
12. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya,
13. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji,
14. Hasil dapat diketahui dari proses perhitungan selanjutnya

4.6.2 Pengujian Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*)

Pengujian ini dilakukan hampir sama dengan uji *Marshall* standar, hal yang membedakan hanya terletak pada lama perendaman yang dilakukan dalam *waterbath*. Pada uji perendaman *Marshall* ini lama perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C. Adapun cara pengujian adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibersihkan dari bahan-bahan lain,

2. Pada masing-masing benda uji diberi tanda pengenal,
3. Mengukur ketinggian benda uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01mm,
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya,
5. Direndam didalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air,
6. Setelah benda uji menjadi jenuh kemudian ditimbang dalam air,
7. Benda uji dilap permukaannya kemudian ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*),
8. Benda uji direndam kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam,
9. Kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaan diberi vaselin untuk memudahkan melepas benda uji
10. Arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada posisi diatas salah satu batang penuntun (*guide rod*),
11. Kepala penekan (*test head*) benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cacin pengunji, kemudian ditur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
12. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya,
13. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji,
14. Hasil dapat diketahui dari proses perhitungan selanjutnya.

4.6.3 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Langkah – langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan.
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapatkan dari *Marshall Test* menggunakan *substitusi* residu aspal Pertamina Cilacap.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
4. Mendapatkan nilai dial dari hasil pengujian.

5. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Indirect Tensile Strength*.
6. Membuat kesimpulan.

4.6.4 Pengujian Permeabilitas

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai permeabilitas aspal porous. Langkah – langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Meletakkan benda uji pada pipa bagian bawah,
2. Mengencangkan klem untuk permeabilitas horizontal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran,
3. Menutup bagian tertentu dengan lilin/malam agar tidak bocor,
4. Meletakkan pipa dan benda uji yang sudah diklem pada bak air yang sudah terisi penuh dengan air, dan permukaan benda uji bagian atas sama dengan tinggi permukaan air pada bak untuk menjaga tekanan agar tetap konstan,
5. Menjepit tabung dengan statif untuk menjaga posisi tabung tetap tegak,
6. Mengisi tabung dengan air sampai mencapai ketinggian 70 cm (h_1),
7. Mencatat waktu sampai air mencapai ketinggian 20 cm diatas permukaan benda uji (h_2).

4.6.5 Pengujian *Cantabro Loss*

Langkah-langkah untuk pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dipadatkan dengan jumlah tumbukan masing-masing 50 kali pada kedua sisinya.
2. Diamkan benda uji yang telah dipadatkan selama 48 jam pada suhu ruangan.
3. Timbang benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi
4. Masukkan benda uji ke drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja, lalu jalankan mesin dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.
5. Setelah selesai, keluarkan benda uji lalu timbang.

4.6.6 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Prosedur pengujian *asphalt flow down* adalah sebagai berikut :

1. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dilapisi dengan kertas alumunium foil, berat cetakan tersebut ditimbang dan dicatat (m1),
2. Selanjutnya dibuat campuran beraspal seberat ± 1200 gr dan setelah tercampur merata dituangkan diatas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2),
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu ± 160 °C selama +60 menit,
4. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan,
5. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada alumunium foil ditimbang dan dicatat (m3).

4.6.7 Pengujian Penetrasi dan Titik Lembek Aspal dengan Penambahan Substitusi Residu Aspal/ Oil Sludge

Pengujian ini dilakukan terhadap aspal yang *disubstitusi* residu aspal/oil sludge dengan variasi kadar sudah ditentukan. Prosedur pelaksanaannya sesuai dengan prosedur pelaksanaan pemeriksaan penetrasi dan titik lembek aspal pada pengujian bahan sebelumnya namun pada pengujian ini dengan menambahkan residu aspal/oil sludge.

4.7 RENCANA ANALISIS DATA

4.7.1 Karakteristik Marshall

Setelah pengujian *Marshall* dilakukan, dilanjutkan dengan menganalisis data yang telah diperoleh. Data yang diperoleh dari hasil percobaan laboratorium antara lain sebagai berikut.

1. Berat benda uji sebelum direndam (gram).
2. Berat benda uji didalam air (gram).
3. Berat benda uji didalam keadaan jenuh air (gram).
4. Tebal benda uji (gram).
5. Pembacaan arloji stabilitas (kg).
6. Pembacaan arloji kelelahan *flow* (mm).

Nilai karakteristik uji *Marshall* didapatkan dengan bantuan data lainnya yang dihitung menggunakan Persamaan 4.1 dan 4.2 berikut.

1. Berat Jenis Aspal

$$BJ \text{ Aspal} = \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}} \quad (4.1)$$

2. Berat Jenis Agregat

$$BJ \text{ Agregat} = \frac{(A.F1)+(B.F2)}{100} \quad (4.2)$$

dengan :

A : Presentase agregat kasar

B : Presentase agregat halus

F1 : Berat jenis agregat kasar

F2 : Berat jenis agregat halus

Nilai-nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Qoutient*), *VITM* (*Void tn the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan kepadatan (*density*) dapat dihitung berdasarkan data-data diatas menggunakan Persamaan 3.1 sampai dengan 3.13.

4.7.2 *Penetration Index (PI)*

Penentuan nilai *Penetration Index* mendasarkan dengan angka penetrasi dan titik lembek aspal yang diolah menggunakan Persamaan 3.14.

4.7.3 *Durabilitaas*

Nilai *Index of retained strength* diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian diolah menggunakan Persamaan 3.15.

4.7.4 Kuat tarik tak langsung (ITS)

Indirect Tensile Strength Test adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban kemudian diolah menggunakan Persamaan 3.16.

4.7.5 Permeabilitas

Nilai *Permeability Test* adalah kemampuan media yang porous untuk mengalirkan fluida kemudian diolah menggunakan Persamaan 3.17.

4.7.6 Asphalt Flow Down (AFD)

Asphalt flow down dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadi pemisahan pemisahan aspal dan juga sebagai parameter untuk menentukan KAO seperti yang disyaratkan AAPA (2004) diperoleh dari Persamaan 3.18.

4.7.7 Contabro Test

Pengujian *cantabro* dilakukan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles*. diperoleh dari Persamaan 3.19.

4.7.7 Analisis Statistik

Analisis statistik anova yang berguna untuk mengetahui perbedaan rata-rata masing masing kategori yang signifikan. ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata dari beberapa populasi yang diwakili oleh beberapa kelompok sampel secara bersama, sehingga hipotesis matematikanya (untuk 5 kelompok) adalah:

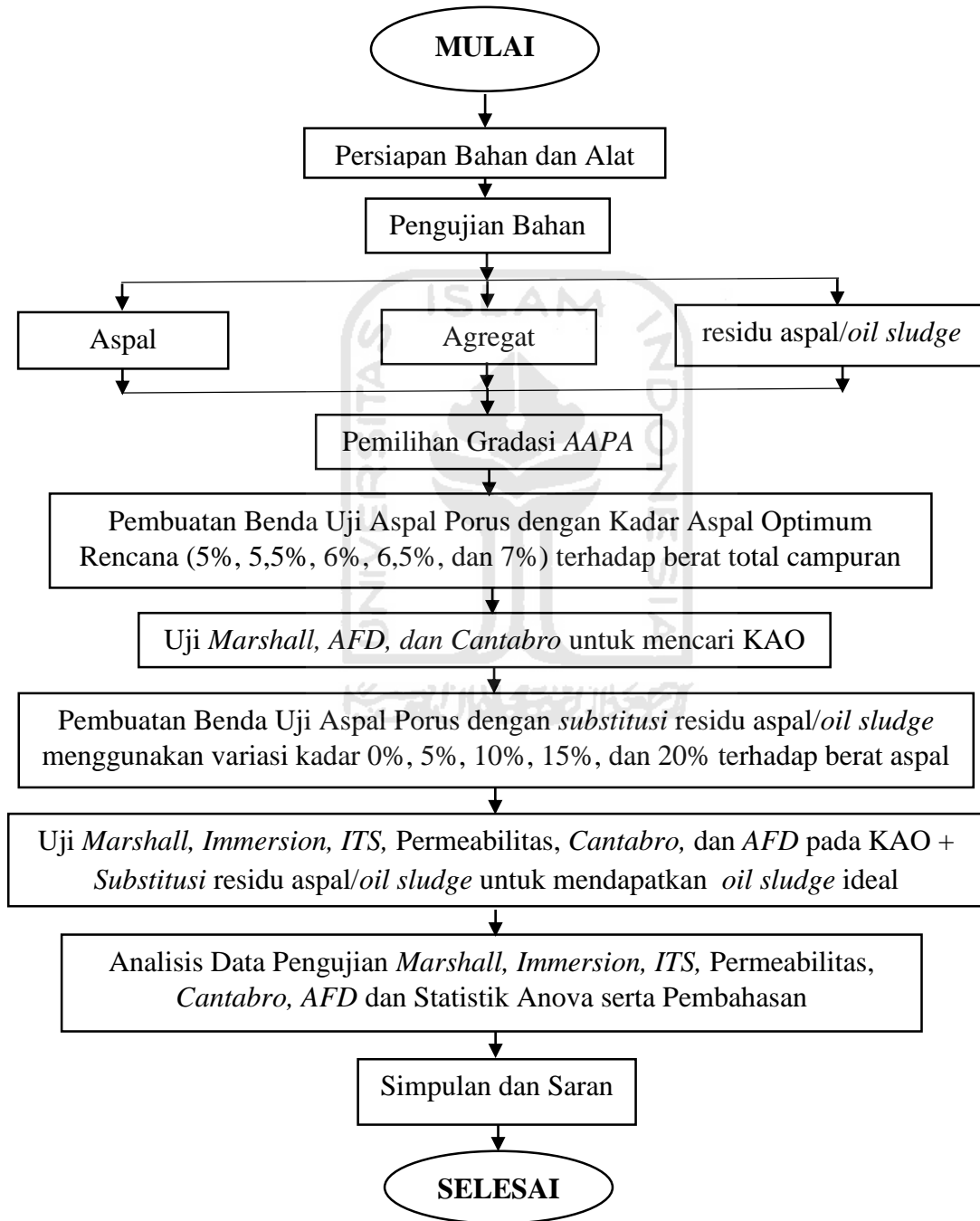
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \text{salah satu dari } \mu \text{ tidak sama}$$

Bunyi hipotesis sebagaimana yang disebutkan di atas bersifat fleksibel karena tidak menyebutkan secara pasti μ mana yang berbeda dengan lainnya. Hal ini berarti bahwa μ mana yang tidak sama bukan merupakan masalah.

4.8 BAGAN ALIR PROSES PENELITIAN

Bagan alir penelitian merupakan penjelasan secara singkat mengenai tahapan-tahapan dalam menjalankan serangkaian penelitian. Adapun bagan alir metode penelitian ini dapat digambarkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Bagan Alir Proses Penelitian

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 HASIL PENELITIAN

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah aspal Pertamina AC 60/70 yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian tersebut menghasilkan data-data yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 berat jenis residu aspal / *oil sludge*. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai Lampiran 7.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian AC 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1.0	1,09	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	68,5	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	165	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	312	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,47	Memenuhi
6	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48,1	Memenuhi

Tabel 5. 2 Hasil pengujian residu aspal / *oil sludge*

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	-	1,11	-
2	Kelarutan TCE (%)	-	51,95	-

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal dengan *Oil Sludge*

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan yaitu aspal dari PT.Pertamina pen 60/70. Jenis aspal mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap campuran aspal. Pada dasarnya aspal pen 60/70 sangat terpengaruh oleh perbedaan temperatur, oleh karena itu dilakukan pengujian viskositas untuk mengetahui suhu pencampuran dan pemadatan pada aspal tersebut menggunakan alat *saybolt furol* pada kedua kondisi yakni pada kondisi murni aspal pen 60/70 dan kondisi setelah adanya substitusi aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* pertamina pada setiap substitusi kadarnya. Serta pengujian penetrasi, titik lembek dan indeks penetrasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik aspal setelah adanya penambahan *oil sludge*. Dan untuk mempermudah pengujian maka pengujian dilakukan dengan menguji pada kondisi substitusi 0 %, 10%, dan 20% serta pada 5% dan 15% dilakukan interpolasi dari hasil pengujian tersebut.

Dalam standarisasi SNI 7729:2011 tentang peraturan temperatur aspal ini di bagi menjadi 2 yaitu temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan, oleh karena itu diberi standar dalam satuan *centistokes* (Cst) yaitu $170 \text{ Cst} \pm 20 \text{ Cst}$ untuk temperatur pencampuran dan $280 \text{ Cst} \pm 20 \text{ Cst}$ untuk temperatur pemadatan. Sedang untuk penetrasi aspal adalah masuknya jaum penetrasi kedalam permukaan aspal dalam waktu 5 detik dengan beban 100 gram pada suhu 25°C. Untuk pengujian viskositas pada aspal pertamina pen 60/70, aspal dengan substitusi 10% dan substitusi 20 % dapat dilihat berurutan pada Tabel 5.3 , Tabel 5.4, dan Tabel 5.5 dibawah ini serta pengujian sifat fisik aspal dengan *oil sludge* pada Tabel 5.7

Tabel 5. 3 Hasil pengujian Pen 60/70

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pemadatan (°C)
140	389	818,00	163,50	156,20
150	193	407,50		
160	106	222,85		

Tabel 5. 4 Hasil pengujian Pen 60/70 dengan substitusi *oil sludge* 10%

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pematatan (°C)
140	201	424,17	160,00	152,20
160	90	188,67		

Tabel 5. 5 Hasil pengujian Pen 60/70 dengan substitusi *oil sludge* 20%

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pematatan (°C)
140	142	299,15	152,70	142,50
160	62	128,25		

Tabel 5. 6 Rekap hasil pengujian viskositas aspal

Kadar <i>residu aspal</i> (%)	Suhu	
	Pencampuran	Pematatan
0	163,50	156,20
5	161,75	154,20
10	160,00	152,20
15	156,35	147,35
20	152,70	142,50

Tabel 5. 7 Rekap hasil pengujian karakteristik aspal dengan *oil sludge*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Nilai Penetrasi (mm)	Nilai Titik Lembek (°C)	Nilai Indeks Penetrasi
0	68,5	48,1	-0,945
5	72,40	50,5	-0,156
10	76,3	53,25	0,686
15	80	54,25	1,069
20	83,70	55	1,387

5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian agregat meliputi pengujian agregat kasar dan agregat halus. Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta.

Data yang diperoleh dari pengujian karakteristik agregat yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.8 dan 5.9.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2.5	2,73	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	0,61	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	99	Memenuhi
4	Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	< 40	25,93	Memenuhi

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2.5	2,837	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	2,70	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	71,08	Memenuhi

5.1.4 Gradasi Agregat untuk Campuran

Dalam penelitian ini gradasi yang digunakan dalam campuran *Porus* adalah gradasi seragam dengan spesifikasi menurut *AAPA* (2004) yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 untuk kadar aspal 5%, Tabel 5.11 untuk kadar aspal 5,5%, Tabel 5.12 untuk kadar aspal 6%, Tabel 5.13 untuk kadar aspal 6,5%, Tabel 5.14 untuk kadar aspal 7% dibawah ini.

Tabel 5.10 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 5,0%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	85,50	85,50
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	684,00	769,50
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85,0	199,50	969,00
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90,0	57,00	1026,00
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	28,50	1054,50
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94,0	17,10	1071,60
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95,0	11,40	1083,00
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	17,10	1100,10
Pan		0	0	0	100	39,90	1140,00
Jumlah						1140	

Tabel 5. 11 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	85,05	85,05
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	680,40	765,45
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85,0	198,45	963,90
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90,0	56,70	1020,60
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	28,35	1048,95
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94,0	17,01	1065,96
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95,0	11,34	1077,30
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	17,01	1094,31
Pan		0	0	0	100	39,69	1134,00
Jumlah						1134	

Tabel 5. 12 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	84,60	84,60
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	676,80	761,40
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85,0	197,40	958,80
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90,0	56,40	1015,20
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	28,20	1043,40
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94,0	16,92	1060,32
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95,0	11,28	1071,60
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	16,92	1088,52
Pan		0	0	0	100	39,48	1128,00
Jumlah						1128	

Tabel 5. 13 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	84,15	84,15
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	673,20	757,35
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85,0	196,35	953,70
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90,0	56,10	1009,80
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	28,05	1037,85
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94,0	16,83	1054,68
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95,0	11,22	1065,90
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	16,83	1082,73
Pan		0	0	0	100	39,27	1122,00
Jumlah						1122	

Tabel 5. 14 Kebutuhan Jumlah Agregat pada campuran dengan Kadar Aspal 7%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	83,70	83,70
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	669,60	753,30
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85	195,30	948,60
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90	55,80	1004,40
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	27,90	1032,30
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94	16,74	1049,04
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95	11,16	1060,20
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	16,74	1076,94
Pan		0	0	0	100	39,06	1116,00
Jumlah						1116	

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian di Laboratorium Jalan Raya UII didapatkan nilai-nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *MQ* (*Marshal Quotient*), kepadatan (*density*), *AFD* (*Asphalt Flow Down*), dan *Cantabro* dari campuran Aspal Porus dengan Aspal Pen 60/70 yang belum disubstitusi dengan *oil sludge*. Nilai-nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.15, Tabel 5.16, dan Tabel 5.17, kemudian hasil tabel tersebut digambarkan yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.3 untuk menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum dihitung berdasarkan kriteria perencanaan dari metode Australia, dengan cara nilai *cantabro loss* 35% diset untuk mendapatkan kadar aspal minimum yaitu 5,06%, kemudian nilai *VITM* 18% diset untuk mendapatkan kadar aspal maksimum yaitu 5,325%. Kadar aspal rata-rata didapat sebesar 5,19% kemudian diplot pada grafik *asphalt flow down* dan mendapatkan nilai 0,15%. Kadar aspal optimum merupakan penjumlahan nilai kasar aspal rata-rata dengan nilai *asphalt flow down*, sehingga didapat nilai 5,34% dan dibulatkan menjadi 5,3%. Penentuan nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.3.

Tabel 5. 15 Hasil pengujian *Marshall* pada masing-masing campuran untuk mencari KAO

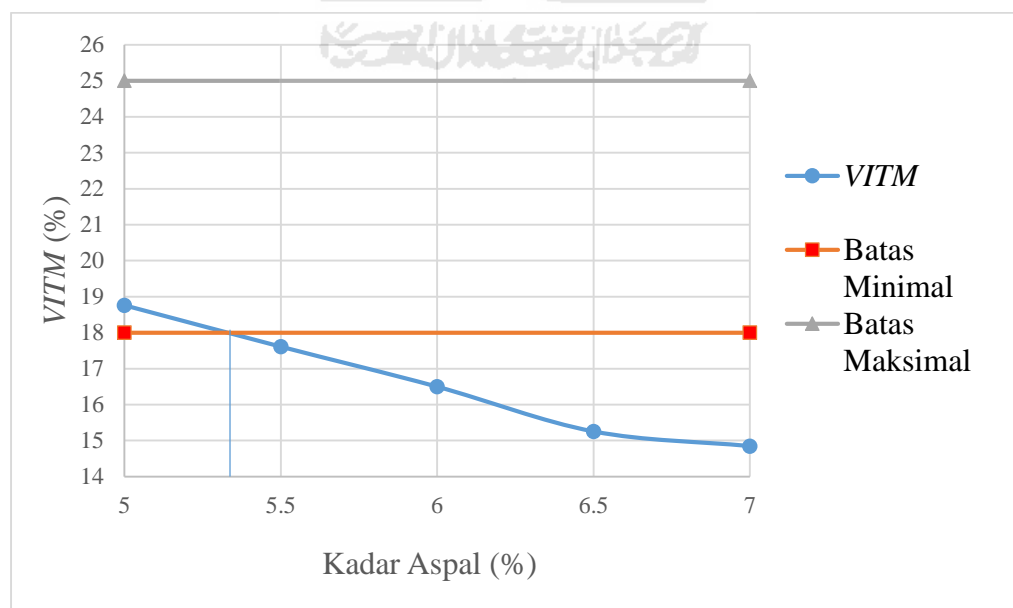
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
							(gr/cc)
5	582,26	3,46	168,74	18,76	33,80	28,33	2,09
5,5	779,57	3,43	227,53	17,61	37,59	28,21	2,10
6	831,64	3,49	239,83	16,50	41,37	28,14	2,11
6,5	710,17	4,05	177,42	15,25	45,46	27,96	2,13
7	521,21	4,26	122,47	14,85	47,91	28,50	2,13
Spesifikasi	> 500	2 - 6	< 400	18 - 25			

Tabel 5. 16 Hasil pengujian *Cantabro* pada masing-masing campuran untuk mencari KAO

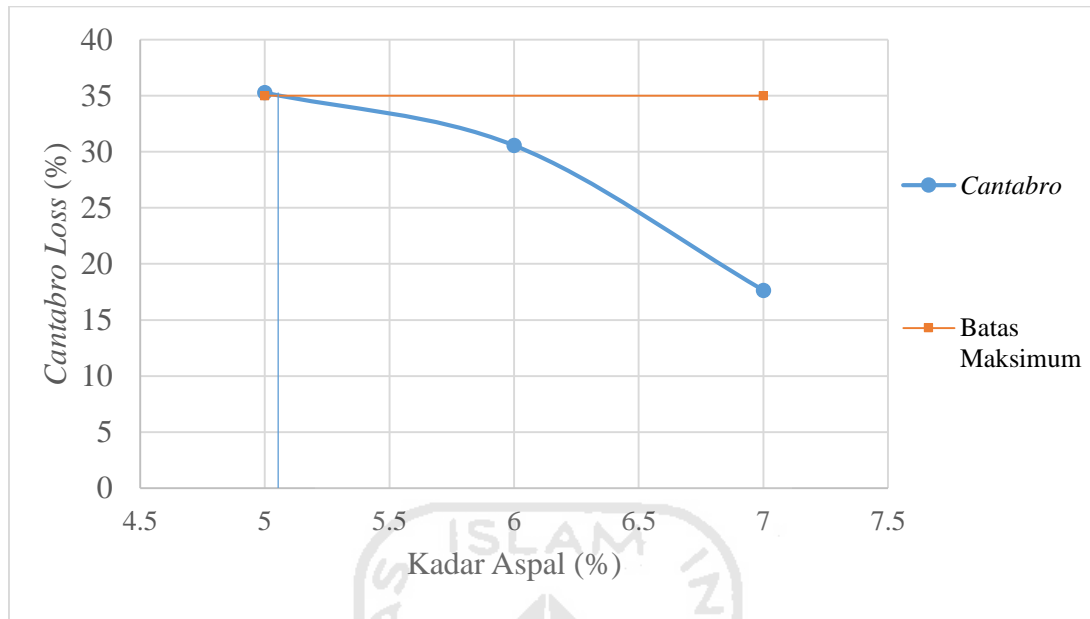
Kadar Aspal (%)		Berat		Kehilangan Berat	Persen Kehilangan Berat (%)	<i>Cantabro</i> Rata-rata
		(g)		(g)		(%)
		<i>Mo</i>	<i>Mi</i>	(<i>Mo-Mi</i>)	L	
5	1	1174,63	383,58	791,05	67,34	35,29
	2	1155,56	649,71	505,85	43,78	
	3	1189,64	870,74	318,9	26,81	
5,5	1	1189,64	486,23	703,41	59,13	55,85
	2	1174,91	633,43	541,48	46,09	
	3	1182,87	445,67	737,20	62,32	
6	1	1189,54	545,76	643,78	54,12	30,58
	2	1165,64	790,67	374,97	32,17	
	3	1183,61	840,54	343,07	28,99	
6,5	1	1174,22	547,93	626,29	53,34	50,82
	2	1181,76	562,88	618,88	52,37	
	3	1191,95	634,65	557,30	46,76	
7	1	1184,93	734,34	450,59	38,03	17,65
	2	1154,38	878,97	275,41	23,86	
	3	1185,77	1050,04	135,73	11,45	

Tabel 5. 17 Hasil pengujian *Asphalt Flow Down* pada masing-masing campuran untuk mencari KAO

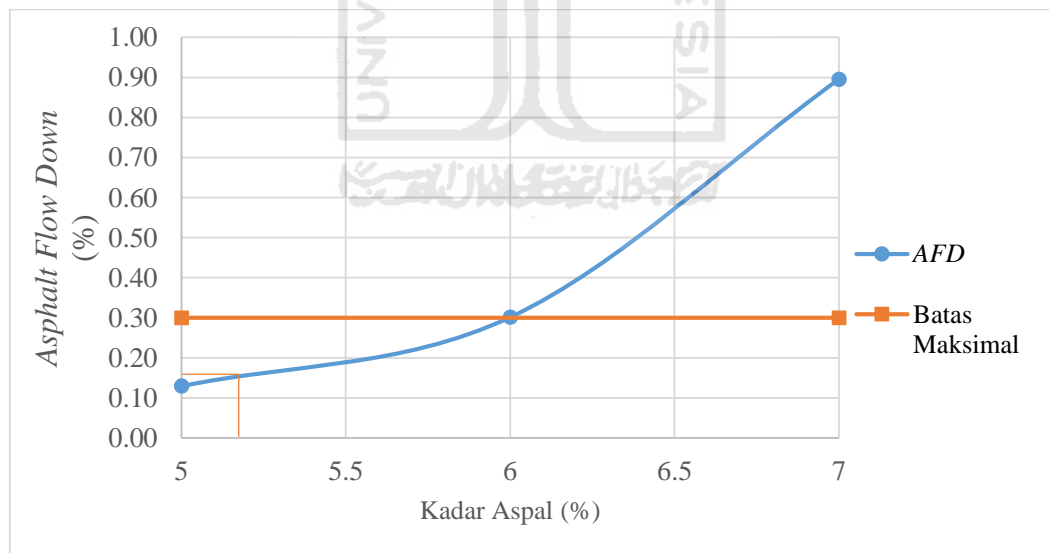
Kadar Aspal (%)	Weight (g)			Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	<i>Asphalt Flow Down</i> Rata-rata (%)
	m1	m2	m3				
5	1	308	1485	354	46	1178	3,94
	2	300	1467	302	2	1167	0,17
	3	311	1460	312	1	1149	0,09
5,5	1	307	1487	396	89	1180	7,6,
	2	298	1478	382	84	1180	7,1
	3	295	1466	366	70	1171	6,0
6	1	430	1609	442	12	1179	1,01
	2	300	1464	304	4	1164	0,34
	3	305	1464	308	3	1159	0,26
6,5	1	301	1442	336	35	1141	3,04
	2	307	1400	454	147	1093	13,42
	3	431	1613	593	163	1182	13,75
7	1	302	1467	498	196	1166	16,84
	2	200	1386	212	12	1186	1,01
	3	305	1461	314	9	1156	0,78



Gambar 5. 1 Grafik Hubungan antara Nilai *VITM* terhadap Penambahan Kadar Aspal



Gambar 5. 2 Grafik Hubungan antara Nilai *Cantabro* terhadap Penambahan Kadar Aspal



Gambar 5. 3 Grafik Hubungan antara Nilai *Asphalt Flow Down* terhadap Penambahan Kadar Aspal

5.1.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Gradasi agregat setelah didapatkan Kadar Aspal Optimum direncanakan kemudian sesuai nilai KAO yang didapatkan. Kebutuhan Agregat pada campuran aspal porous pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.18 dibawah ini.

Tabel 5. 18 Jumlah Agregat pada Kadar Aspal Optimum 5,3%

Ukuran saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5 mm						
1 "	25 mm						
3/4 "	19 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
1/2 "	12,5 mm	100	100	100	0,0	0	0,00
3/8 "	9,5 mm	85	100	92,5	7,5	85,23	85,23
No. 4	4,75 mm	20	45	32,5	67,5	681,84	767,07
No. 8	2,36 mm	10	20	15	85,0	198,87	965,94
No. 16	1,18 mm	6	14	10	90,0	56,82	1022,76
No. 30	0,600 mm	5	10	7,50	92,5	28,41	1051,17
No. 50	0,300 mm	4	8	6	94,0	17,05	1068,22
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95,0	11,36	1079,58
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	17,05	1096,63
Pan		0	0	0	100	39,77	1136,40
Jumlah						1136,4	

5.1.7 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Substitusi *Oil Sludge* Pertamina pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa berat jenis *oil sludge* / *oil sludge* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan aspal pen 60/70, perbedaan sifat bahan tersebut juga akan berpengaruh terhadap campuran aspal porous.

Hasil pengujian campuran aspal porous pada kadar aspal optimum meliputi *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, Permeabilitas, *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro* dapat dilihat pada Tabel 5.19 Tabel 5.20 Tabel 5.21 Tabel 5.23 Tabel 5.24 sedangkan analisis statistik ditampilkan dalam Tabel 5.25 dan

Tabel 5.26. Untuk Hasil dari pengujian diatas selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 16 sampai dengan Lampiran 20

Tabel 5. 19 Hasil Uji *Marshall* Pada KAO

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	572,54	3,98	172,17	18,97	32,90	29,05	2,07
5	556,63	3,48	160,16	19,03	34,62	29,09	2,07
10	445,64	2,78	159,92	18,59	35,32	28,69	2,08
15	336,16	2,57	131,60	18,03	36,18	28,20	2,10
20	331,50	2,55	129,11	17,91	36,38	28,09	2,10
Spesifikasi	> 500	2 - 6	< 400	18 - 25			

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Lama Perendaman		<i>Index of Retained Strength</i> (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0	573	260	45,423
5	557	254	45,574
10	446	261	58,585
15	336	273	81,097
20	331	360	108,705

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Sampel	KAO	Beban Puncak	Diameter	Tebal	A0	<i>ITS</i>	Rata-rata
		(%)	(kg)	(cm)	(cm)		(kg/cm ²)	
0	A	5,30	434,645	10	7,791	0,159	8,844	8,42
	B	5,30	435,989	10	7,810	0,159	8,849	
	C	5,30	371,579	10	7,774	0,159	7,577	
5	A	5,30	250,905	10	7,410	0,159	5,367	7,39
	B	5,30	333,238	10	7,639	0,159	6,915	
	C	5,30	380,542	10	7,669	0,159	7,866	
10	A	5,30	334,519	10	7,954	0,159	6,667	6,83
	B	5,30	334,477	10	7,578	0,159	6,997	
	C	5,30	528,327	10	7,622	0,159	10,988	

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Kadar Oil Sludge (%)	Sampel	KAO	Beban Puncak	Diameter	Tebal	A0	ITS	Rata-rata
		(%)	(kg)	(cm)	(cm)		(kg/cm ²)	
15	A	5,3	371,68	10	8,024	0,159	7,34	7,86
	B	5,3	374,55	10	8,029	0,159	7,39	
	C	5,3	424,17	10	7,600	0,159	8,85	
20	A	5,3	474,82	10	8,133	0,159	9,25	7,14
	B	5,3	365,41	10	7,937	0,159	7,30	
	C	5,3	348,34	10	7,916	0,159	6,98	

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar Oil Sludge (%)	a	L	A	t	h1	h2	k	Keterangan
	cm ²	cm	cm ²	s	cm	cm	cm/s	
0	31,13	7,89	314,16	33,21	20	8	0,0216	Drainase Sedang
0	31,13	7,90	314,16	33,36	20	6	0,0282	Drainase Sedang
0	31,13	8,09	314,16	32,37	20	9	0,0198	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0232	Drainase Sedang
5	31,13	7,78	314,16	31,81	20	10	0,0168	Drainase Sedang
5	31,13	7,86	314,16	21,66	20	9	0,0287	Drainase Sedang
5	31,13	7,79	314,16	26,28	20	9	0,0234	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0230	Drainase Sedang
10	31,13	7,79	314,16	22,06	20	10	0,0242	Drainase Sedang
10	31,13	7,91	314,16	16,03	20	4	0,0786	Drainase Sedang
10	31,13	7,73	314,16	11,28	20	12	0,0346	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0294	Drainase Sedang
15	31,13	7,64	314,16	54,69	21	11	0,0089	Drainase Sedang
15	31,13	7,97	314,16	10,99	20	9	0,0573	Drainase Sedang
15	31,13	8,05	314,16	21,78	21	12	0,0205	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0389	Drainase Sedang
20	31,13	7,81	314,16	14,05	20	10	0,0381	Drainase Sedang
20	31,13	8,06	314,16	10,06	20	11	0,0474	Drainase Sedang
20	31,13	7,94	314,16	7,63	20	13	0,0444	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0433	Drainase Sedang

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)		Weight (g)			Berat Aspal meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2- m1) (g)	Nilai <i>AFD</i> (%)	<i>AFD</i> Rata2 (%)
		m1	m2	m3				
		0	A	309	1497	311	2	1188
	B	299	1477	300	1	1178	0,08	
	C	315	1498	316	1	1183	0,08	
5	A	199	1279	201	2	1080	0,2	0,15
	B	302	1487	304	2	1185	0,2	
	C	309	1492	310	1	1183	0,1	
10	A	207	1382	208	1	1175	0,09	0,11
	B	304	1474	306	2	1170	0,17	
	C	315	1493	316	1	1178	0,08	
15	A	300	1504	302	2	1204	0,17	0,14
	B	200	1360	201	1	1160	0,09	
	C	306	1486	308	2	1180	0,17	
20	A	315	1475	316	1	1160	0,09	0,09
	B	304	1477	305	1	1173	0,09	
	C	300	1468	301	1	1168	0,09	

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)		Berat Benda Uji (g)		Kehilangan Berat (g)	Persen Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	A	1172,06	754,35	417,71	35,64	34,22
	B	1189,88	498,7	691,18	58,09	
	C	1156,21	777,02	379,19	32,80	
5	A	1175,49	714,96	460,53	39,18	34,87
	B	1166,06	304,04	862,02	73,93	
	C	1197,39	831,49	365,9	30,56	
10	A	1199,01	999,53	199,48	16,64	34,36
	B	1151,02	753,6	397,42	34,53	
	C	1194,02	785,87	408,15	34,18	
15	A	1172,79	751,08	421,71	35,96	29,40
	B	1201,84	1020,13	181,71	15,12	
	C	1174,26	905,93	268,33	22,85	
20	A	1180,58	860,07	320,51	27,15	17,32
	B	1197,58	1006,06	191,52	15,99	
	C	1198,83	975,38	223,45	18,64	

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Permeabilitas*, *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro* dengan residu aspal / *oil sludge* sebagai substitusi Aspal Pen 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal porus dianalisis menggunakan analisis statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan 5.26. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Data Uji Statistik *Anova* untuk Karakteristik *Marshall*

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis	Nilai
Stabilitas	Ho ditolak	Signifikan	0,000
<i>Flow</i>	H0 ditolak	Signifikan	0,001
<i>MQ</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,273
<i>VITM</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,880
<i>VFWA</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,233
<i>VMA</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,872
<i>Density</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,870

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Data Uji Statistik *Anova* untuk *Immersion*, *ITS*, *Permeabilitas*, *AFD* dan *Cantabro*

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis	Nilai
<i>Immersion</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,242
<i>ITS</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,168
Permeabilitas	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,164
<i>Asphalt Flow Down</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,336
<i>Cantabro</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan	0,072

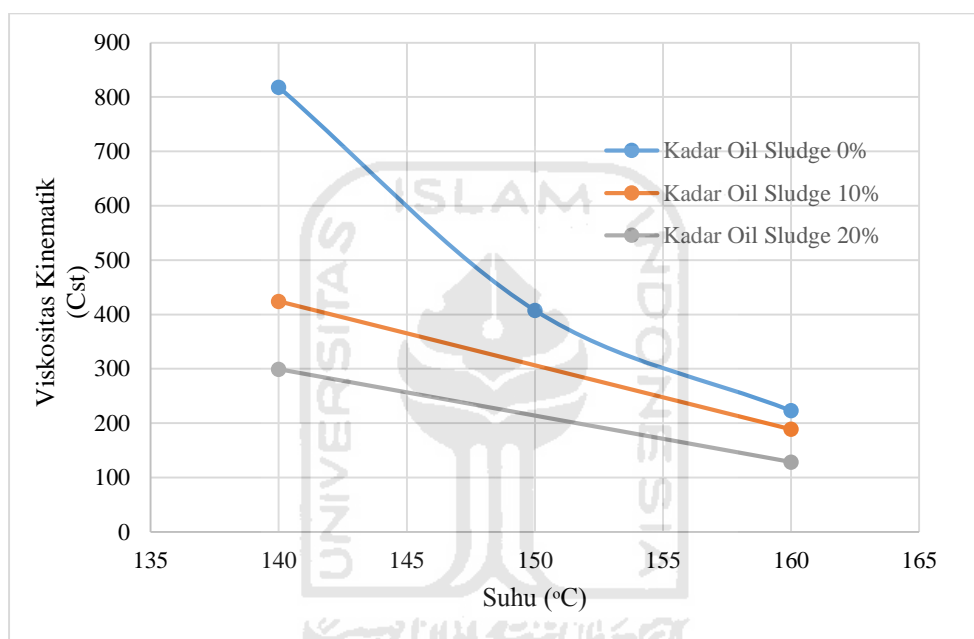
5.2 PEMBAHASAN

5.2.1 Karakteristik Aspal

Berikut merupakan pembahasan dari hasil pengujian karakteristik aspal pen 60/70 dengan adanya substitusi *oil sludge*. Pembahasan karakteristik aspal dengan *oil sludge* adalah sebagai berikut.

1. Viskositas

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian viskositas aspal dengan alat *Viscometer Syabolt Furol*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu pencampuran dan pemadatan benda uji aspal beton. Temperatur pencampuran diperoleh pada saat aspal mempunyai nilai *centistokes* (Cst) yaitu 170 ± 20 Cst dan suhu pemadatan diperoleh pada saat aspal mempunyai nilai *centistokes* (Cst) yaitu $280 \pm$ Cst.

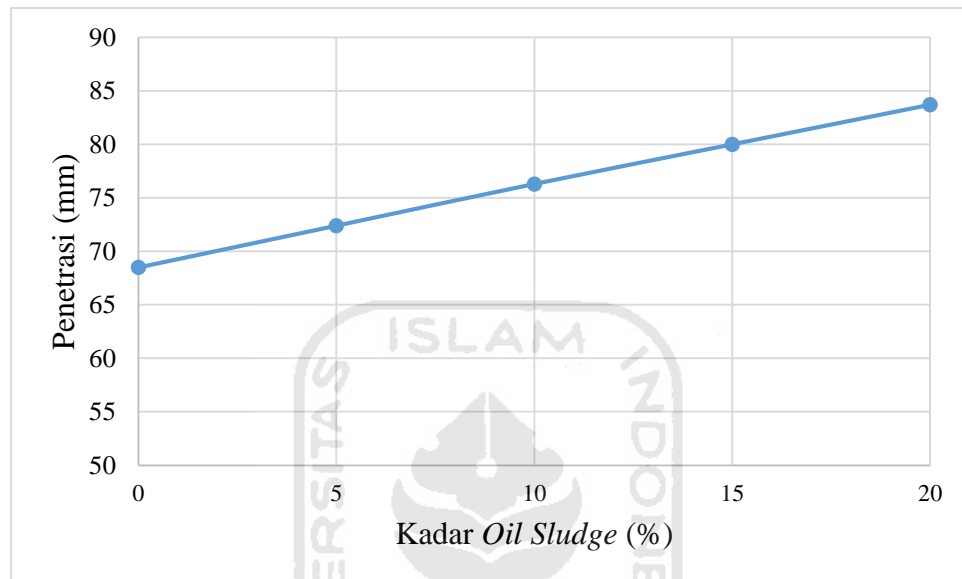


Gambar 5. 4 Grafik hubungan antara Temperatur dengan Nilai Kekentalan Kinematik

Dari grafik pada Gambar 5.4 berikut diperoleh bahwa viskositas aspal dengan kadar *oil sludge* berbeda-beda. Suhu pencampuran dan pemadatan juga akan berbeda karena adanya substitusi *oil sludge* tersebut. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa semakin banyaknya kadar substitusi *oil sludge* maka nilai viskositas kinematik semakin rendah. Nilai viskositas tertinggi pada kadar aspal dengan substitusi *oil sludge* 0% yaitu suhu pencampuran sebesar $163,5$ °C serta suhu pemadatan $156,20$ °C dan nilai terendah terdapat pada kadar *oil sludge* 20% yaitu suhu pencampuran sebesar $152,70$ °C serta suhu pemadatan $142,50$ °C.

2. Penetrasi

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Karena aspal yang digunakan adalah aspal AC 60/70 yang diproduksi oleh PT. Pertamina Cilacap.

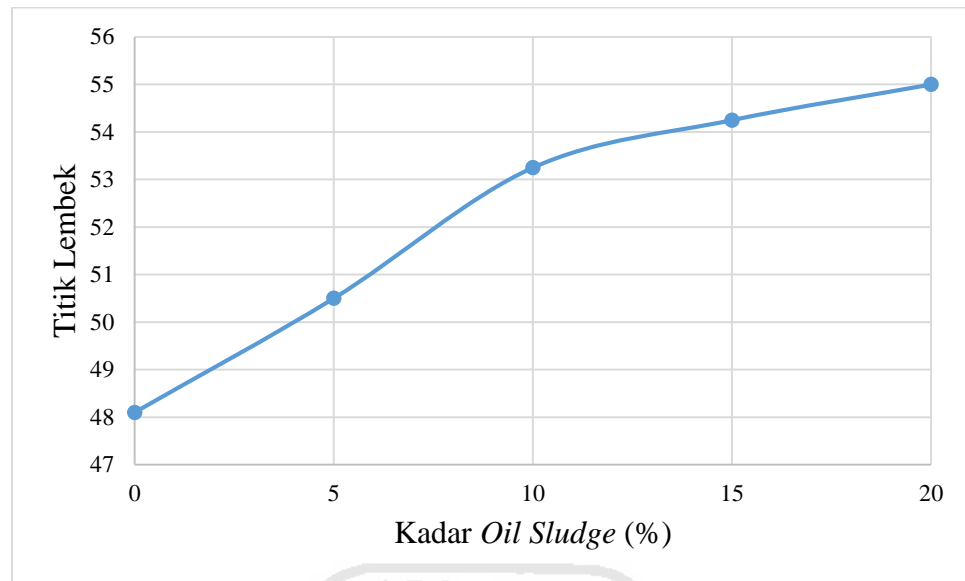


Gambar 5. 5 Grafik Hubungan antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai Penetrasi

Grafik diatas menggambarkan hubungan kadar substitusi *oil sludge* dengan nilai penetrasi. Hasil pengujian penetrasi Aspal pen 60/70 dengan penambahan 0% *oil sludge* menunjukkan nilai sebesar 68,5 mm, dan dengan seiring penambahan *oil sludge* nilai penetrasi semakin besar. Nilai penetrasi tertinggi pada aspal yang telah di substitusi dengan *oil sludge* adalah dengan kadar tertinggi 20% yaitu sebesar 83,7 mm seperti yang tertera pada Gambar 5.5. Dapat disimpulkan bahwa *oil sludge* dapat mengubah nilai penetrasi aspal. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 untuk aspal pen 60/70 sebelum adanya substitusi *oil sludge* yaitu antara 60 sampai dengan 70 mm.

3. Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui pada temperatur berapa aspal mulai lembek pada suhu tertentu. Berikut merupakan hasil pengujian titik lembek aspal dengan adanya substitusi *oil sludge*.

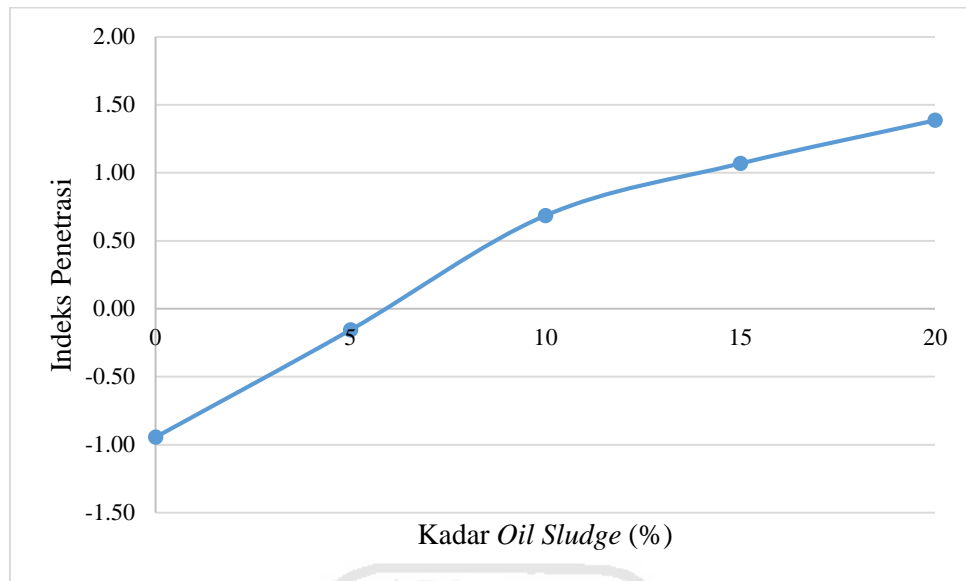


Gambar 5. 6 Grafik Hubungan antara Kadar *Oil Sludge* dengan Titik Lembek

Hasil pengujian titik lembek pada aspal pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 48,1°C dan nilai titik lembek pada aspal pen 60/70 yang telah disubstitusi mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *oil sludge*. Nilai tertinggi titik lembek pada aspal pen 60/70 dengan kadar *oil sludge* 20% memiliki nilai yaitu 55°C seperti yang tertera pada Gambar 5.6. Kenaikan nilai yang terjadi pada titik lembek tersebut merupakan akibat adanya substitusi *oil sludge* dalam aspal pen 60/70, karena dengan semakin bertambahnya kadar *oil sludge* yang diberikan nilai temperatur aspal saat mulai melembek semakin tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan karena nantinya akan tidak mudah meleleh pada suhu ekstrimnya. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 untuk aspal pen 60/70 ataupun yang telah ditambahkan *oil sludge* yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

4. Indeks Penetrasi

Perhitungan indeks penetrasi bertujuan untuk mengetahui nilai perubahan konsistensi aspal dengan berubahnya temperatur aspal. Grafik tersebut merupakan hasil perhitungan indeks penetrasi aspal dengan adanya substitusi *oil sludge*.



Gambar 5. 7 Grafik Hubungan antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai Indeks Penetrasi

Hasil pengujian indeks penetrasi pada aspal pen 60/70 sebesar -0,945 dan nilai indeks penetrasi pada aspal pen 60/70 yang telah disubstitusi *oil sludge* semakin bertambah besar seiring bertambahnya kadar *oil sludge*. Nilai pada kadar substitusi *oil sludge* tertinggi 20% menunjukkan nilai indeks penetrasi sebesar 1,387 yang dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.7. Nilai indeks penetrasi yang semakin besar akan memperkecil resiko deformasi campuran. Pada umumnya sebagian besar nilai indeks penetrasi yang sering digunakan antara -1 dan +1, jika nilai indeks penetrasi semakin kecil maka sifat kepekaan terhadap suhu meningkat dan sebaliknya akan semakin tidak peka jika nilai indeks penetrasi semakin besar. Aspal dengan *oil sludge* menunjukkan ketidakpekaan terhadap suhu karena nilai indeks penetrasi semakin meningkat, seperti halnya *blown asphalt* yang memang dibuat secara khusus agar kepekaan terhadap temperatur kecil.

5.2.2 Tinjauan Karakteristik *Marshall* Standar

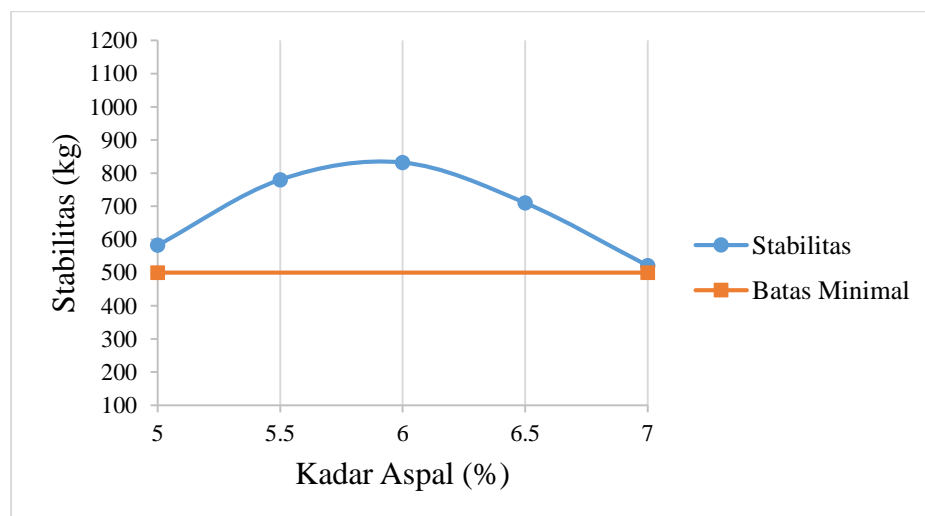
Berikut merupakan pembahasan dari hasil pengujian karakteristik *Marshall* campuran Aspal Porus dalam kondisi standar. Pembahasan karakteristik *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Stabilitas

Stabilitas yaitu beban yang dapat ditahan campuran perkerasan sampai terjadi kelelahan plastis. Semakin tinggi nilai stabilitas, maka semakin tinggi kemampuan campuran perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Nilai stabilitas didapat langsung dari hasil pembacaan pada alat *Marshall* pada saat pengujian. Gaya saling mengunci antar batuan (*internal friction*) dan kelekatan (*cohesion*) akan mempengaruhi nilai stabilitas, sedangkan gaya saling mengunci antar batuan (*internal friction*) tergantung dari tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan kadar aspal.

Nilai stabilitas akan naik bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal sampai batas optimum, dan penambahan kadar aspal akan menurunkan nilai stabilitas. Hal ini karena aspal yang berfungsi sebagai pengikat antar agregat akan menjadi pelicin setelah melebihi batas optimum, sehingga gaya saling mengunci antar agregat pada campuran akan menurun.

Stabilitas yang rendah akan menyebabkan perkerasan mengalami *rutting* karena perkerasan cenderung fleksibel, sedangkan stabilitas yang tinggi menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai stabilitas pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan kadar aspal pada campuran maka stabilitas yang semula naik akan turun setelah mencapai batas maksimum. Aspal porus merupakan gradasi senjang yang mana nilai stabilitasnya tidak cukup tinggi karena adanya rongga yang besar pada campuran beraspal, yang mana luas permukaan butiran agregat yang harus diselimuti aspal relatif lebih sedikit dibandingkan dengan gradasi rapat. Dengan terpenuhinya permukaan agregat yang terselimuti maka stabilitas mencapai batas maksimum dan akan berkurang ketahanannya setelah seluruh permukaan agregat telah terselimuti. Sehingga dengan penambahan kadar aspal nilai stabilitas akan meningkat hingga mencapai batas optimum dan akan menurun akibat kadar aspal yang melebihi kadar optimum.

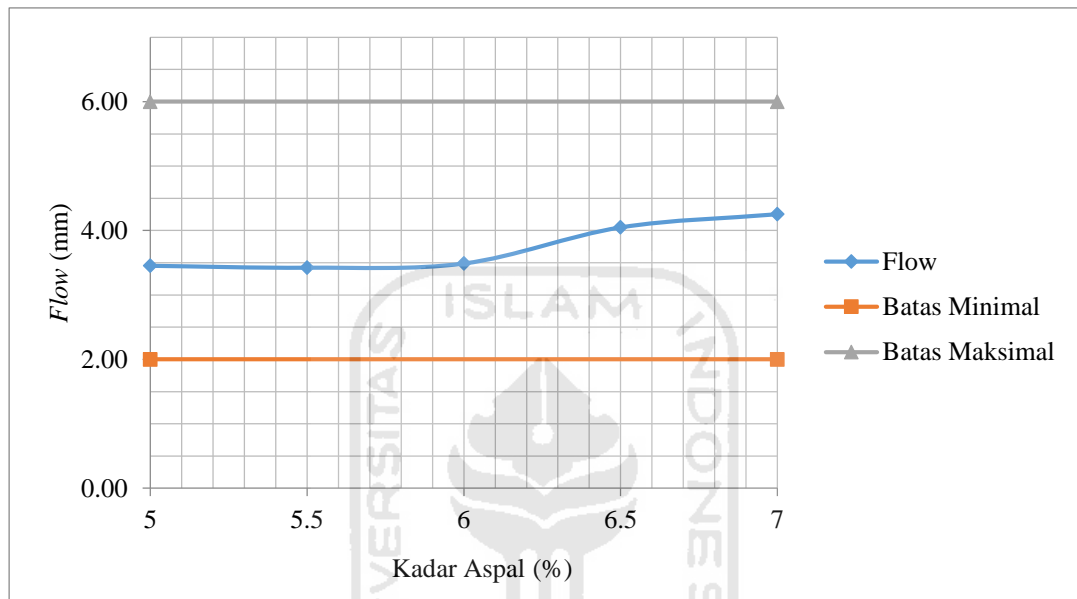
Dari hasil pengujian di laboratorium, didapatkan nilai stabilitas campuran aspal porus paling rendah sebesar 521,21 kg pada kadar aspal 7 % sedangkan nilai stabilitas paling tinggi pada aspal porus yaitu 831,64 kg pada kadar aspal 6%. Dari nilai stabilitas yang didapat dari pengujian tersebut, didapatkan bahwa nilai Stabilitas standar dengan aspal Pertamina Pen 60/70 yang memenuhi persyaratan AAPA (2004) minimal 500 kg.

2. *Flow*

Kelelahan (*Flow*) menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran, yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Semakin tinggi nilai kelelahan (*Flow*) suatu campuran, maka semakin tinggi pula kelenturan lapis permukaan, tingkat kelelahan tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal dan nilai daktilitas campuran. Semakin rendah nilai daktilitas campuran, maka akan semakin rendah fleksibilitas lapis perkerasan.

Campuran dengan nilai *flow* rendah dan dengan nilai stabilitas tinggi akan menyebabkan campuran mudah retak apabila menerima beban, ini dikarenakan semakin rendah nilai *flow* dan semakin tinggi nilai stabilitas maka campuran akan cenderung kaku, apabila nilai *flow* yang tinggi dengan nilai stabilitas yang rendah,

akan menyebabkan campuran mudah berubah bentuk bila menerima beban, karena campuran menjadi lebih plastis. Nilai *flow* dipengaruhi oleh faktor gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *flow* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

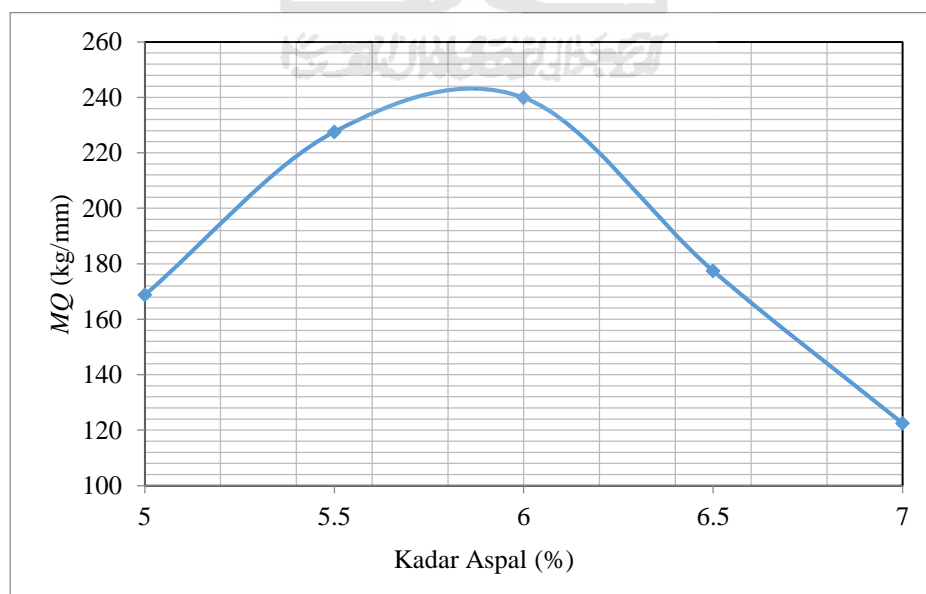
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya proporsi kadar aspal, nilai *flow* menunjukkan kecenderungan meningkat. Peningkatan nilai *flow* campuran aspal porous pada kadar aspal ini disebabkan kadar aspal yang bertambah dalam pengikatan agregat, menyebabkan campuran menjadi lebih plastis dan jika menerima beban maka deformasi plastis akan semakin lebih besar.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *flow* campuran Aspal Porus yang terendah pada kadar aspal 5,5 % sebesar 3,43 mm dan paling tinggi pada kadar aspal 7% sebesar 4,26 mm. Dari nilai *flow* yang didapat dari pengujian tersebut, maka sesuai dengan spesifikasi AAPA (2004) minimal 2-6 mm.

3. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient yaitu merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Fleksibilitas dipengaruhi juga oleh kadar aspal, semakin besar kadar aspal, maka fleksibilitas juga akan semakin besar, dan akan turun setelah mencapai batas optimum aspal, karena aspal yang berfungsi sebagai pengikat, setelah mencapai batas optimum akan berubah menjadi pelicin. Perkerasan akan menjadi kaku dan getas, apabila nilai stabilitas tinggi, sedangkan nilai *flow* rendah. Sebaliknya perkerasan akan menjadi plastis dan akan mengalami deformasi apabila menerima beban lalu lintas.

Nilai *Marshall Quotient* adalah perbandingan antar nilai stabilitas dan nilai *flow*, sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas dan nilai *flow*, seperti bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, viskositas aspal, jumlah dan temperature pemadatan, akan juga mempengaruhi nilai dari *Marshall Quotient*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *Marshall Quotient* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan *Nilai Marshall Quotient*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 dapat dilihat nilai MQ memberikan gambaran bahwa bertambahnya proporsi kadar aspal nilai MQ menurun setelah mencapai batas optimum, hal ini mengindikasikan bahwa aspal yang melekat dan terabsorpsi kedalam agregat mampu memperkuat campuran aspal porus sehingga tahan terhadap beban deformasi.

Secara umum campuran aspal porus menggunakan agregat clereng nilai MQ yang baik karena dengan penambahan kadar aspal hingga batas optimum akan meningkatkan nilai stabilitas dan *flow* semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa campuran aspal porus standar bersifat kuat dan lentur.

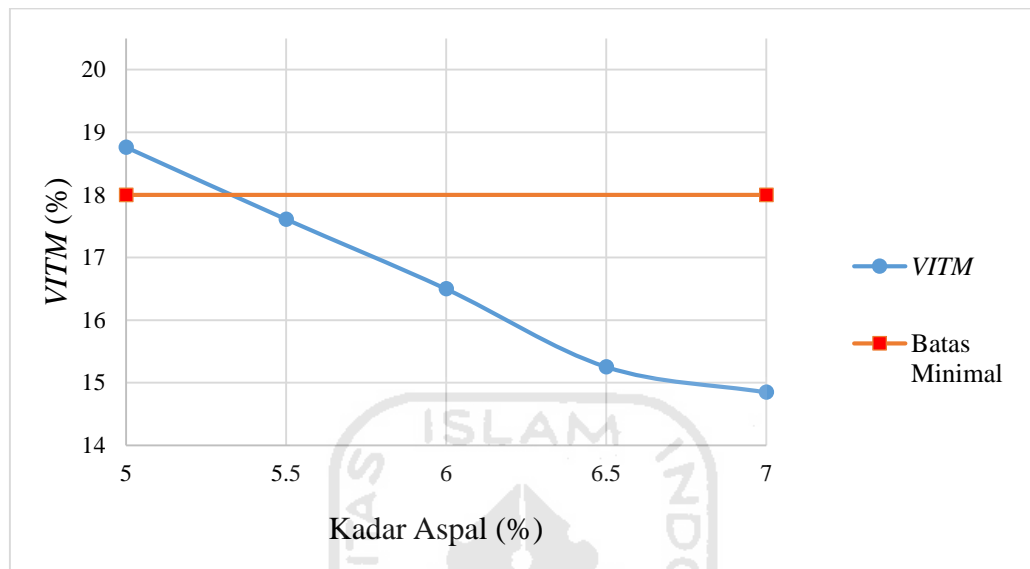
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *Marshall Quotient* campuran dengan kadar aspal 7% paling rendah sebesar 122,47 (kg/mm) dan paling tinggi pada kadar aspal 6% sebesar 239,83 (kg/mm). Dari nilai *Marshall Quotient* yang didapat dari pengujian tersebut, maka semua kadar aspal dan agregat clereng memenuhi persyaratan *Marshall Quotient* AAPA (2004) maksimal 400 (kg/mm).

4. *VITM* (*Void in the Total Mix*)

VITM adalah prosentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Nilai *VITM* yang terlalu rendah akan menyebabkan campuran mudah terjadi bleeding, aspal dalam campuran akan mengalir diantara rongga agregat, ini bisa diakibatkan oleh tingginya temperatur, sehingga aspal dalam campuran akan mencair saat menerima beban. Nilai *VITM* yang terlalu tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat berupa alur retak, dan menyebabkan aspal mudah teroksidasi yang mengakibatkan melemahnya ikatan aspal terhadap terhadap agregat, karena nilai *VITM* yang tinggi menunjukkan rongga yang terdapat dalam campuran besar, sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara.

AAPA (2004) mensyaratkan batas nilai *VITM* pada aspal porus sebesar 18%-25%, karena pada batas tersebut campuran memiliki cukup besar rongga, sehingga campuran akan mudah meloloskan air sebagai fungsi dari besarnya porositas tersebut tetapi tidak memiliki keawetan dan campuran akan terjadi deformasi plastis.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VITM* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar aspal dari kadar 5%-7% nilai *VITM* semakin menurun, karena rongga udara terisi aspal semakin besar dan memperkecil volume rongga udara, campuran menjadi semakin rapat.

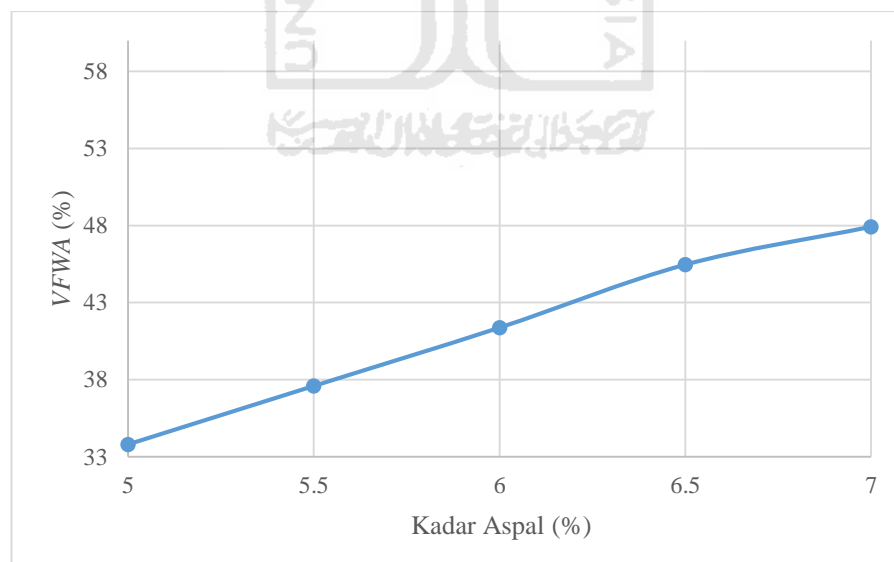
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *VITM* campuran dengan kadar aspal 5% memiliki nilai paling tinggi sebesar 18,76%, paling rendah sebesar 14,85% pada kadar aspal 7%. Dari nilai *VITM* yang didapat dari pengujian tersebut, dapat dilihat bahwa nilai kadar aspal yang memenuhi batas minimum dan batas maksimum persyaratan *AAPA* (2004), yaitu pada kadar aspal 5%. Kecilnya persen rongga pada campuran disebabkan karena besarnya kadar aspal yang menyelimuti agregat. Hal ini akan menyebabkan sisa aspal akan menutup rongga menjadi lebih kecil, sehingga banyaknya persen rongga dalam campuran akan semakin mengecil.

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

VFWA menunjukkan prosentase rongga dalam campuran aspal yang telah terisi aspal, sehingga semakin bertambahnya kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah. Semakin tinggi nilai *VFWA* maka campuran akan semakin kedap terhadap air dan udara, sehingga campuran akan semakin awet. *VFWA* dipengaruhi oleh factor gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan.

Nilai *VFWA* yang tinggi akan menyebabkan rongga yang ada terlalu kecil, sehingga campuran mudah terjadi bleeding, ini dikarenakan aspal yang akan mencari tempat yang kosong pada saat menerima beban, dan rongga yang tersedia kecil maka aspal akan naik ke permukaan, terutama pada temperature tinggi. Nilai *VFWA* yang rendah akan menyebabkan rongga yang ada terlalu besar, sehingga lapisan kurang kedap terhadap air dan udara, yang menyebabkan air dan udara mudah melarutkan bagian aspal yang teroksidasi, sehingga campuran berkurang keawetannya.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VFWA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *VFWA* semakin bertambah. Faktor yang

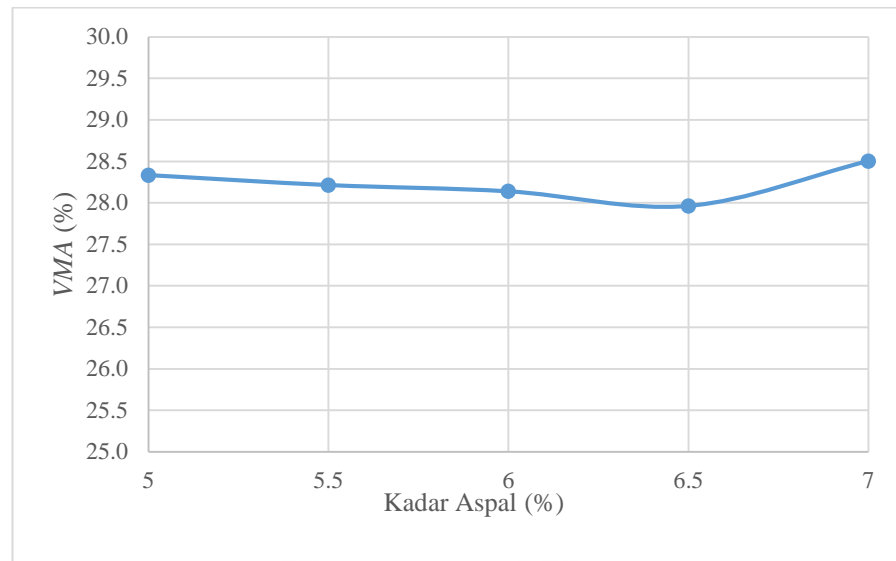
mempengaruhi adalah gradasi agregat yang tergolong senjang akan mempunyai nilai *VFWA* yang kecil. Hal ini terjadi karena penyerapan yang terjadi pada gradasi senjang cukup besar dan mengakibatkan aspal yang diserap oleh agregat juga besar, sehingga sisa aspal yang menutup rongga menjadi lebih kecil dan banyaknya persen rongga dalam campuran yang terisi aspal menjadi kecil.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *VFWA* campuran dengan kadar aspal 5% memiliki nilai paling rendah sebesar 33,80% dan paling tinggi sebesar 47,91% pada kadar aspal 7%. Dari nilai *VFWA* yang didapat dari pengujian tersebut, dapat dilihat nilai *VFWA* pada semua kadar tidak memiliki nilai yang rendah dan dalam *AAPA* (2004) tidak disyaratkan batas nilai dari *VFWA* tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *VFWA* adalah gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pemadatan.

6. *VMA* (*Void in Mineral Agregate*)

VMA yaitu persentase banyaknya pori antara butir-butir agregat dalam campuran, atau bisa dinyatakan sebagai persentase rongga yang tersedia untuk ditempati aspal dan udara. Nilai *VMA* akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal, dan semakin tinggi nilai *VMA* maka kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal. Namun nilai *VMA* yang tinggi akan menyebabkan campuran akan mudah mengalami bleeding, sebaliknya jika nilai *VMA* rendah maka lapisan kurang dapat mengikat aspal, sehingga lapisan akan mudah retak.

Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai *VMA* maka kedap campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VMA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai VMA

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa dengan kadar aspal yang semakin meningkat nilai VMA menjadi menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal dan meningkat setelah mencapai batas optimum yang menyebabkan *film* aspal lebih tipis dan *film* semakin tebal setelah mencapai batas optimum, sehingga jarak angregat semakin besar

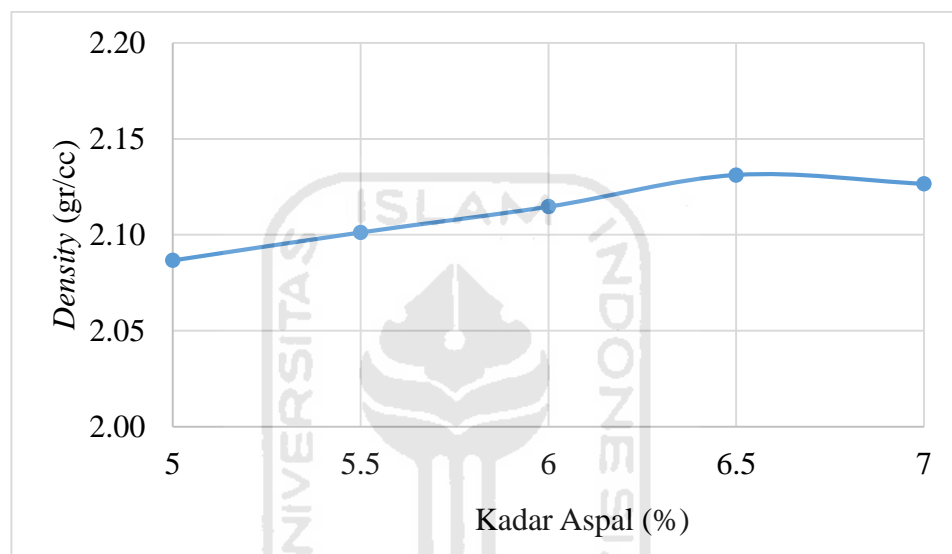
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai VMA campuran dengan kadar aspal 6,5% memiliki nilai paling rendah sebesar 27,96% paling tinggi sebesar 28,50 % pada kadar aspal 7%. Dari nilai VMA yang didapat dari pengujian tersebut, dapat dilihat bahwa nilai VMA pada kadar aspal yang semakin bertambah maka akan mengalami penurunan dan kemudian nilai VMA meningkat setelah mencapai batas optimum. Ini dikarenakan pada kadar aspal yang rendah, rongga yang tersedia untuk ditempati aspal juga semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya kadar aspal tinggi maka rongga yang tersedia jg tinggi.

7. Density

Density yaitu kepadatan suatu campuran yang diukur setiap satuan volume. Semakin tinggi nilai *density* maka semakin kuat campuran dapat menahan beban, karena campuran semakin padat dan semakin rapat. Semakin meningkatnya kadar

aspal maka campuran akan semakin rapat dan padat, karena semakin meningkatnya kadar aspal, maka semakin besar juga jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir. Nilai *density* dapat dipengaruhi oleh factor gradasi bahan, jumlah pemadatan, temperature pemadatan, dan penggunaan kadar aspal dalam campuran.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *density* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.14 berikut ini.



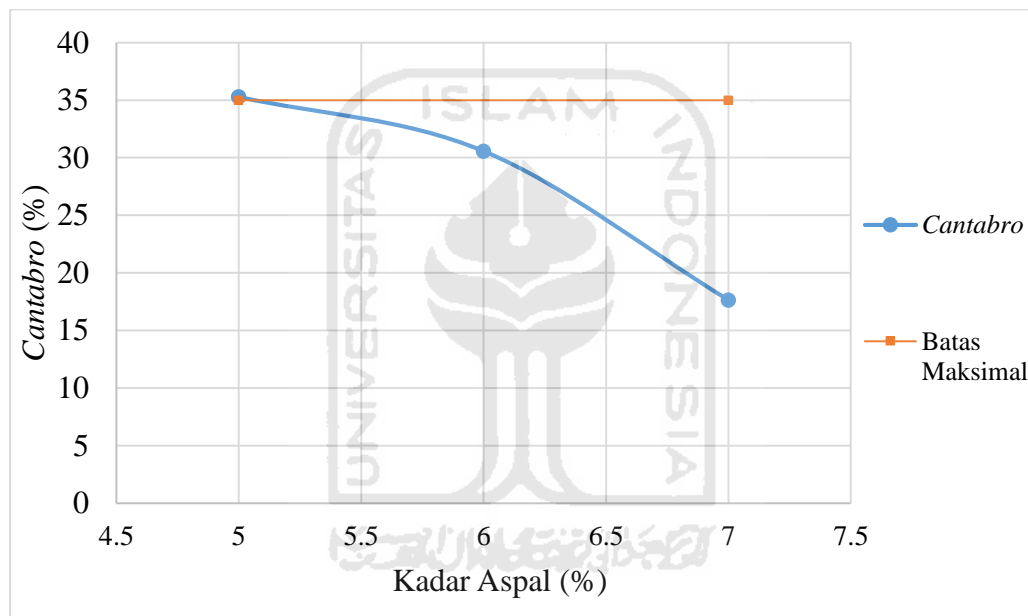
Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 dapat dilihat semakin besar proporsi kadar aspal menaikkan nilai *density*, tetapi kenaikan nilai *density* tidak signifikan meningkat drastis karena gradasi campuran aspal porus yang senjang / seragam sehingga tidak terdistribusi merata dari agregat besar sampai kecil maka rongga atau pori yang terjadi akan besar.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *density* campuran aspal porus dengan kadar aspal 5% memiliki nilai paling rendah sebesar 2,09 (gr/cc) dan paling tinggi sebesar 2,13 (gr/cc) pada kadar aspal 7%. Dalam spesifikasi teknik campuran beton aspal tidak ada persyaratan khusus mengenai nilai *density*. Nilai *density* digunakan untuk persyaratan teknis lapangan, yaitu kepadatan lapangan tidak boleh kurang dari 96% kepadatan laboratorium.

5.2.3 Tinjauan Karakteristik *Cantabro* Standar

Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui kehilangan berat pada campuran dilakukan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles* dan juga sebagai parameter untuk menentukan KAO seperti yang disyaratkan *AAPA* (2004). Benda uji yang didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang. Sebelum benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles*. Gambar hasil pengujian *Cantabro* dapat dilihat pada pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Cantabro*

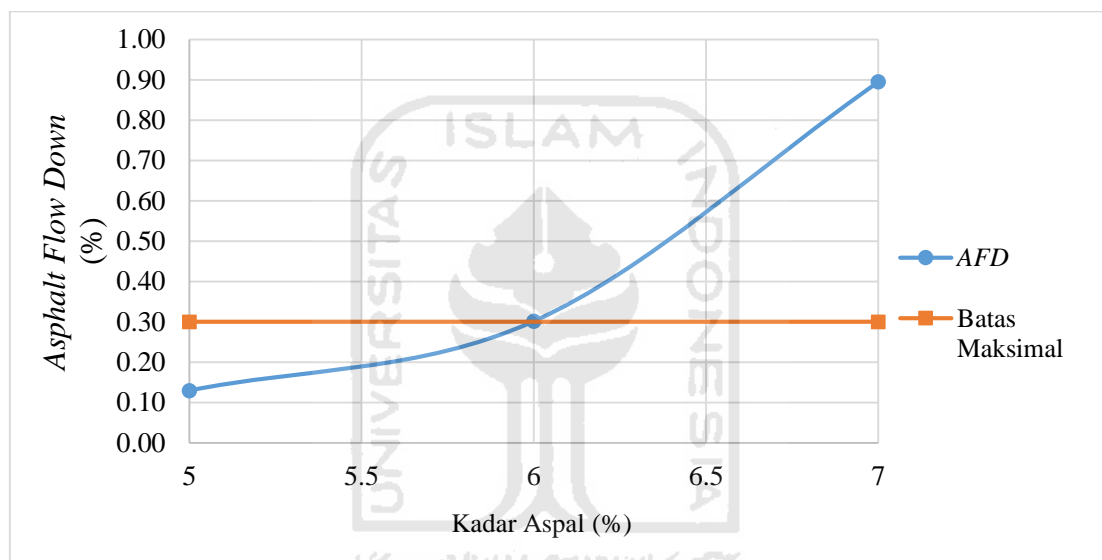
Dari Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa nilai *cantabro* semakin menurun dengan meningkatnya proporsi kadar aspal. Semakin menurunnya kehilangan berat artinya tahan terhadap benturan. Hal ini disebabkan oleh persen kadar aspal yang meningkat karena dengan meningkatnya kadar aspal maka daya ikat campuran antara agregat dan aspal semakin baik sehingga menaikkan kemampuan campuran aspal porus untuk tahan terhadap benturan.

Hasil dari uji *cantabro* didapat nilai kehilangan berat terhadap penambahan persentase kadar aspal pada proporsi 5% yaitu sebesar 35,29% dan proporsi kadar aspal 7% yaitu sebesar 17,65%. *AAPA* (2004) mensyaratkan batas nilai *cantabro* pada

aspal porus sebesar maksimal 35%, karena pada batas tersebut campuran memiliki ketahanan yang cukup untuk menerima beban yang diberikan.

5.2.4 Tinjauan Karakteristik *Asphalt Flow Down Standar*

Pengujian *Asphalt Flow Down* dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadi pemisahan pemisahan aspal dan juga sebagai parameter untuk menentukan KAO seperti yang disyaratkan AAPA (2004).



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Asphalt Flow Down*

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa nilai *Asphalt Flow Down* semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal, meskipun demikian peningkatan pada nilai *Asphalt Flow Down* tidak signifikan. Peningkatan pada hasil pengujian *Asphalt Flow Down* menunjukkan bahwa pemisahan antara aspal dengan agregat semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, ini disebabkan film yang menyelimuti agregat semakin tebal dengan bertambahnya presentase kadar aspal sehingga aspal yang melekat paling luar akan dapat meleleh dan terpisah dari ikatan campuran.

Hasil dari uji *Asphalt Flow Down* didapat nilai pemisahan aspal terhadap penambahan persentase kadar aspal pada proporsi 5% yaitu sebesar 0,13% dan

proporsi kadar aspal 7% yaitu sebesar 0,90%. AAPA (2004) mensyaratkan batas nilai *Asphalt Flow Down* pada aspal porus sebesar maksimal 0,3%, karena pada batas tersebut campuran memiliki homogenitas pada kadar aspal tertentu yang dapat tercampur baik pada campuran aspal porus.

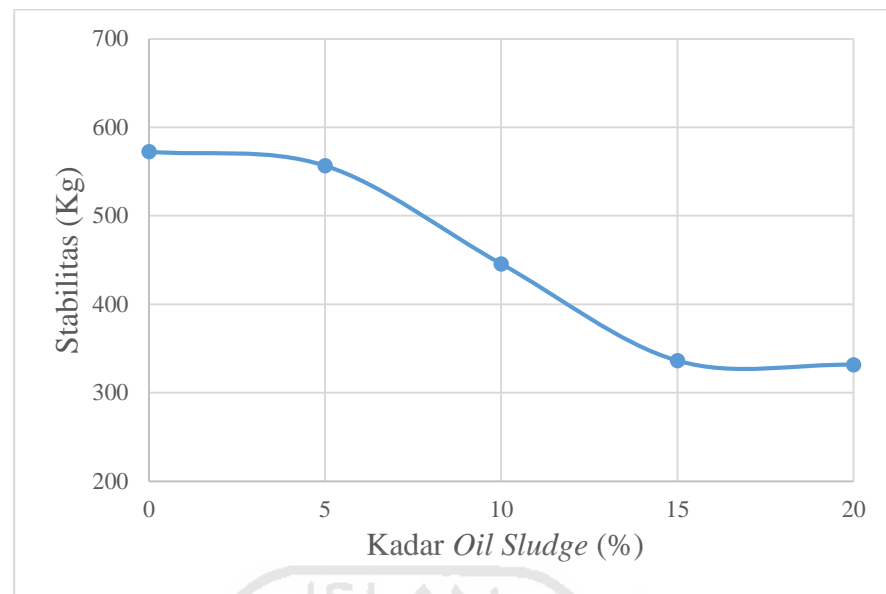
5.2.5 Tinjauan Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Penelitian yang dilakukan terhadap aspal porus dengan substitusi aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* pertamina diperoleh bahwa, aspal porus dengan substitusi aspal menghasilkan nilai pengujian *Marshall* yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar substitusi aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* pertamina. Hal ini disebabkan adanya perbedaan berat jenis *oil sludge* pertamina yang memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan aspal pertamina pen 60/70, nilai penetrasi aspal yang telah disubstitusi dengan *oil sludge* pun lebih tinggi dari aspal standar pen 60/70 dan tekstur permukaan atau bentuk dari *oil sludge* lebih kasar dari pada aspal pen 60/70.

Setelah dilakukan penelitian dengan cara mengganti aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* pada kadar tertentu yang digunakan pada campuran Porus terlihat bahwa perilaku campuran aspal porus mengalami perubahan. Perubahan dari setiap perilaku dianalisis menggunakan analisis anova sebagai salah satu cara menentukan efek yang terjadi apakah mengakibatkan perbedaan yang signifikan ataupun tidak signifikan dengan angka level signifikan 5%. Jika hasil tidak signifikan, berarti seluruh rata-rata sampel adalah sama. Jika perlakuan menghasilkan efek yang signifikan, setidaknya satu dari rata-rata sampel berbeda dari rata-rata sampel yang lain. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

1. Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai Stabilitas campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin menurun dengan meningkatnya proporsi substitusi *oil sludge*. Penurunan dari hasil analisis statistik anova yang dilakukan dari nilai stabilitas tersebut menunjukkan penurunan yang signifikan, dengan angka signifikan yaitu 0,0%. Dalam hal ini berarti bahwa kemampuan campuran perkerasan aspal yang telah disubstitusi *oil sludge* memiliki kemampuan menahan beban yang lebih rendah dari sebelum adanya substitusi. Hal ini disebabkan karena nilai penetrasi aspal yang telah disubstitusi *oil sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi (lentur) sehingga kekuatan campuran dalam menerima beban memiliki nilai yang lebih rendah dari sebelum adanya substitusi *oil sludge*. Dengan makin bertambahnya kadar substitusi *oil sludge* pada proporsi berat yang sama, campuran dengan substitusi *oil sludge* tidak dapat mempertahankan ikatan agregat agar tetap pada posisinya sehingga terjadi penurunan nilai stabilitas.

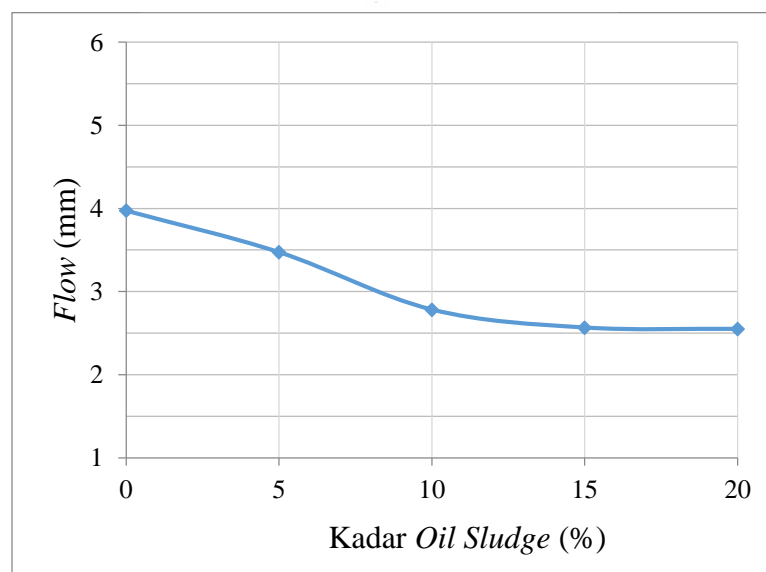
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai Stabilitas paling tinggi pada campuran aspal porus pada kondisi normal 0% sebesar 572,54 kg serta dengan substitusi *oil sludge* nilai stabilitas terbesar yang didapat adalah pada kadar 5% yaitu sebesar 556,63 kg, dan nilai stabilitas terendah campuran dengan

kadar substitusi *oil sludge* 20% sebesar 331,50 kg. Dari nilai stabilitas yang didapat dari pengujian tersebut, maka sebagian campuran dengan substitusi *oil sludge* memenuhi persyaratan stabilitas AAPA (2004) minimal 500 (kg) yaitu pada kadar 0% dan 5%.

Nilai stabilitas campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami penurunan dan pada penelitian sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami peningkatan. Nilai stabilitas campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian aspal porus sebelumnya dengan aspal modifier *Resiprene 35*. Nilai stabilitas tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* 572,54 kg pada kadar 5%, sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 545 kg. Beberapa nilai campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* memiliki nilai yang memenuhi persyaratan AAPA (2004) yaitu ≥ 500 kg dan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene 35* juga memenuhi nilai persyaratan AAPA (2004) pada kadar 6%.

2. Flow

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai *flow* campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai *Flow*

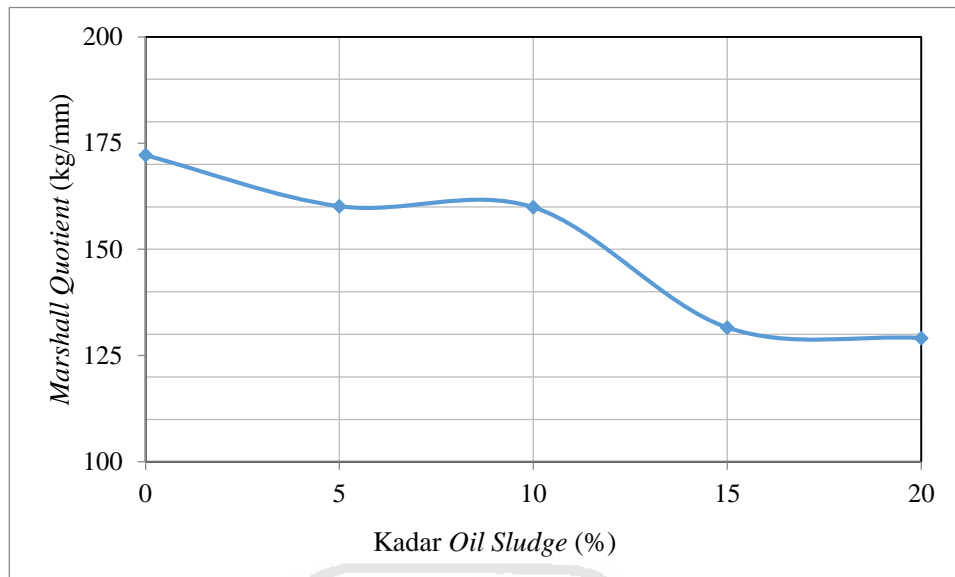
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 di atas dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya proporsi kadar substitusi aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* ke dalam campuran aspal porus menghasilkan nilai *flow* yang semakin menurun. Nilai penurunan *flow* yang terjadi berdasarkan analisis anova menunjukkan penurunan yang signifikan dengan angka signifikan yaitu 0,1%. Hal ini disebabkan *oil sludge* memiliki nilai penetrasi yang lebih besar dari pada aspal pen 60/70, sehingga pada berat yang sama pada campuran dengan substitusi *oil sludge* menjadi lebih getas dan mudah retak bila ada pembebanan. Dengan meningkatnya proporsi kadar *oil sludge* maka semakin lentur kondisi campuran perkerasan tersebut, sehingga aspal pen 60/70 dengan substitusi *oil sludge* tidak dapat mempertahankan posisi ikatan antar agregat yang menghasilkan penurunan nilai *flow*.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *Flow* paling tinggi pada substitusi kadar 5% yaitu sebesar 3,98 mm, dan nilai *Flow* substitusi 20% *oil sludge* sebesar 2,55 mm. Berdasarkan AAPA (2004), nilai *flow* untuk aspal porus yaitu >2 mm dan < 6 mm, maka nilai *flow* semua kadar *oil sludge* tetap memenuhi persyaratan AAPA (2004).

Nilai *flow* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami penurunan dan pada penelitian sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami peningkatan. Nilai *Flow* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene*. Nilai *flow* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 3,98 mm sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 5,20 mm. Meskipun demikian nilai *flow* campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* memiliki nilai yang memenuhi persyaratan AAPA (2004).

3. *Marshall Quotient*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai *Marshall Quotient* campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut ini.



Gambar 5.19 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai *Marshall Quotient*

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* menurun, diperoleh dari perbandingan nilai stabilitas yang menurun dan nilai *flow* menurun akibat dari meningkatnya proporsi kadar *oil sludge*. Nilai *Marshall Quotient* tidak mengalami perubahan penurunan yang signifikan dengan adanya substitusi aspal dengan *oil sludge* dengan hasil analisis anova nilai menunjukkan angka 27,3%. Campuran dengan nilai stabilitas yang rendah dan *flow* yang rendah memiliki sifat stabil dan cenderung dapat mempertahankan bentuk yang sesuai dengan kapasitasnya.

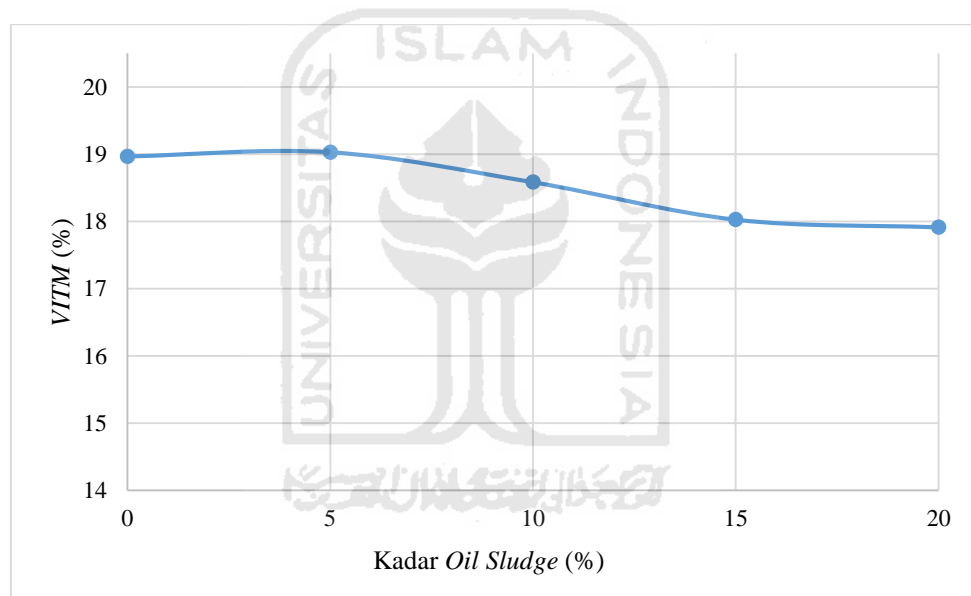
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *Marshall Quotient* awal paling tinggi pada campuran yang belum disubstitusi *oil sludge* 0% yaitu sebesar 172,17 mm, tetapi seiring dengan bertambahnya kadar *oil sludge* nilai *MQ* semakin menurun, nilai *Marshall Quotient* pada kadar tertinggi campuran dengan *oil sludge* 20% yaitu 129,11 mm. Hal ini disebabkan penurunan nilai Stabilitas dan penurunan nilai *flow*.

Nilai *MQ* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami penurunan dan pada penelitian sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami peningkatan. Nilai *MQ* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian aspal porus sebelumnya

dengan penambahan *Resiprene 35*. Nilai *MQ* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 172,17 kg/mm sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 116,00 kg/mm. Meskipun demikian nilai *MQ* campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* memiliki nilai yang memenuhi persyaratan *AAPA* (2004).

4. *VITM* (Void in the Total Mix)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai *VITM* campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* Aspal dengan Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 di atas dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya proporsi kadar substitusi aspal maka nilai *VITM* menurun. Penurunan dari hasil analisis statistik anova yang dilakukan dari nilai *VITM* tersebut menunjukkan penurunan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 88,0%. Hal ini disebabkan karena aspal yang telah disubstitusi dengan *oil sludge* memiliki sifat yang lebih encer dibandingkan dengan aspal Pen 60/70 dan memiliki kadar mineral yang tinggi yaitu 48,05% dari kadar *oil sludge*, sehingga menyebabkan pencampuran aspal dengan agregat lebih mudah tetapi

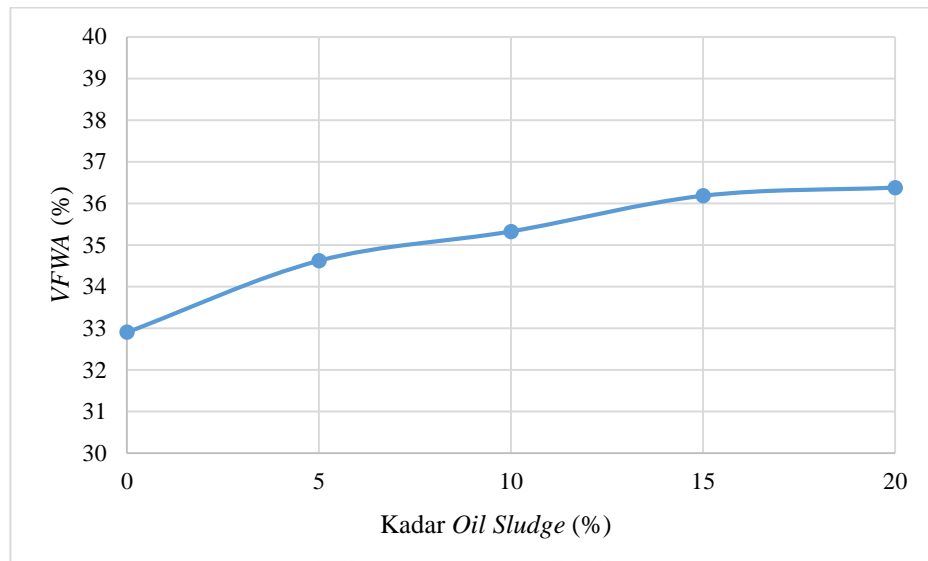
pelapisan aspal pada agregat cenderung tipis dan mineral yang terkandung dapat mengisi rongga menjadi lebih kecil. Semakin besar kadar *oil sludge* semakin banyak pula volume yang terisi oleh aspal yang telah disubstitusi maka menjadi semakin rapat (rongga semakin kecil).

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *VITM* paling tinggi pada campuran yang disubstitusi *oil sludge* 5% yaitu sebesar 19,03% dan dengan seiring bertambahnya kadar *oil sludge* nilai *VITM* semakin menurun, nilai *VITM* pada kadar *oil sludge* tertinggi campuran 20% yaitu 17,91%.

Nilai *VIM* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* sama-sama mengalami penurunan seperti penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* seiring bertambahnya presentasi campuran yang digunakan. Nilai *VITM* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* memiliki nilai *VITM* yang lebih rendah dari penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35*. Nilai *VITM* terendah campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 19,03% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene 35* tertinggi adalah 19,47%. Meskipun demikian nilai *VITM* campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* memiliki nilai yang memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu 18%, tetapi pada kadar tertinggi 20% turun dibawah syarat minimum.

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai *VFWA* campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.21 berikut ini.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* Aspal dengan Nilai *VFWA*

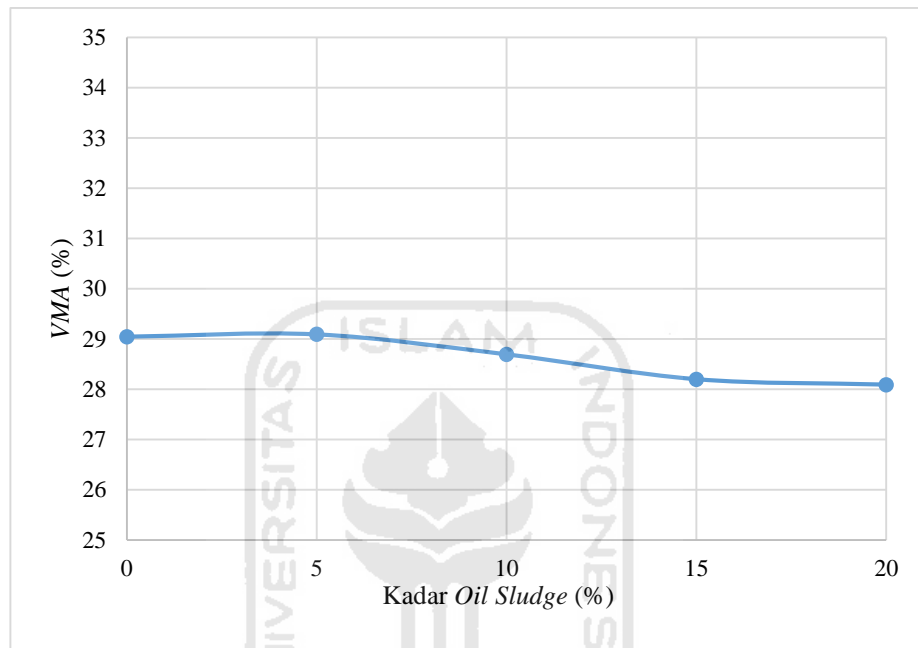
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.21 di atas dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya proporsi kadar substitusi *oil sludge* maka nilai *VFWA* meningkat. Peningkatan dari hasil analisis statistik anova yang dilakukan dari nilai *VFWA* tersebut menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 23,3%. Hal ini disebabkan karena aspal yang telah disubstitusi *oil sludge* memiliki sifat yang lebih encer, sehingga semakin besar kadar substitusi aspal semakin banyak volume aspal yang mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran menjadi semakin rapat (*VITM* rendah), sehingga *VFWA* semakin meningkat.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *VFWA* paling tinggi pada campuran dengan substitusi *oil sludge* 20%, yaitu sebesar 36,38%, dan nilai *VFWA* paling rendah campuran dengan 5% yaitu sebesar 32,90%.

Nilai *VFWA* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami peningkatan dan pada penelitian sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami penurunan. Nilai *VFWA* aspal porus dengan *oil sludge* masih lebih tinggi dari aspal porus dengan *resiprene 35*. Nilai *VFWA* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 36,38% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 30,35%.

6. VMA (*Void in Mineral Agregate*)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai VMA campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* Aspal dengan Nilai VMA

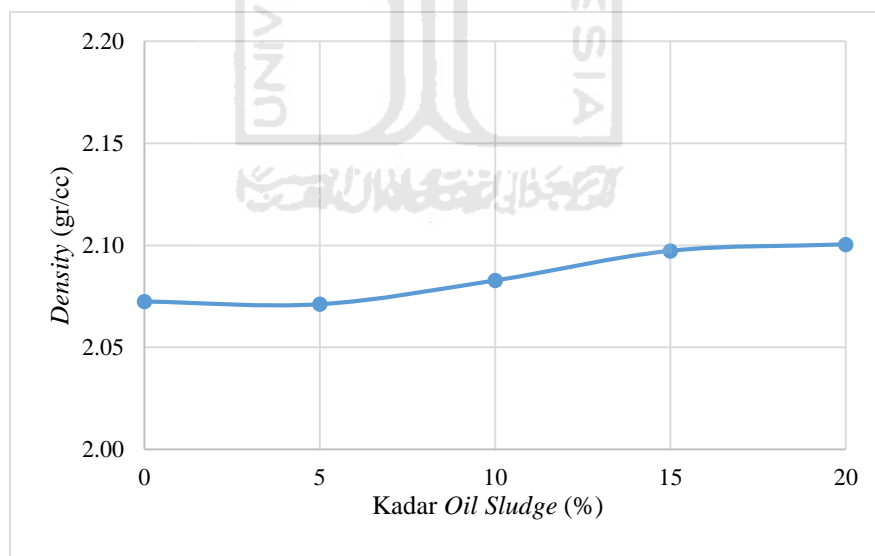
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar kadar substitusi *oil sludge* maka nilai VMA akan naik dan menurun setelah mencapai kadar optimum. Perubahan dari nilai VMA dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 87,2%. Hal ini disebabkan karena aspal yang telah disubstitusi dengan *oil sludge* memiliki nilai penetrasi yang lebih besar dan kadar mineral yang tinggi sehingga aspal yang telah disubstitusi lebih encer dan mengandung banyak mineral, semakin besar kadar substitusi *oil sludge* semakin banyak pula mineral yang dapat mengisi rongga dalam campuran sehingga menjadi semakin rapat (rongga semakin kecil) dan jarak antar mineral agregat menjadi semakin rendah (VMA menurun).

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *VMA* paling tinggi pada campuran dengan substitusi *oil sludge* 5%, yaitu sebesar 29,09 %, dan Nilai *VMA* campuran dengan substitusi *oil sludge* 20% paling rendah yaitu sebesar 28,09%.

Nilai *VMA* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* sama-sama mengalami penurunan seperti penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene* 35 seiring bertambahnya presentasi campuran yang digunakan. Nilai *VMA* dengan *oil sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. Besar nilai *VMA* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 29,09% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 27,08%.

7. *Density*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar substitusi aspal dengan nilai *Density* campuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.23 Grafik Hubungan Antara *Oil Sludge* Aspal dengan Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.23 di atas dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya proporsi kadar substitusi *oil sludge* maka nilai *density* meningkat. Peningkatan dari nilai *density* dianalisis dengan analisis statistik anova

menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 87,0%. Hal ini disebabkan oleh berat jenis *oil sludge* yang lebih rendah serta sifat dari aspal yang telah disubstitusi *oil sludge* memiliki nilai penetrasi yang lebih tinggi dan memiliki kadar mineral yang cukup tinggi, sehingga pada berat yang sama volume dengan substitusi *oil sludge* yang lebih besar akan menghasilkan campuran yang lebih rapat. Semakin besar substitusi *oil sludge* maka aspal yang telah disubstitusi semakin lebih cair dan mengandung mineral dapat mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran menjadi semakin rapat (rongga semakin kecil).

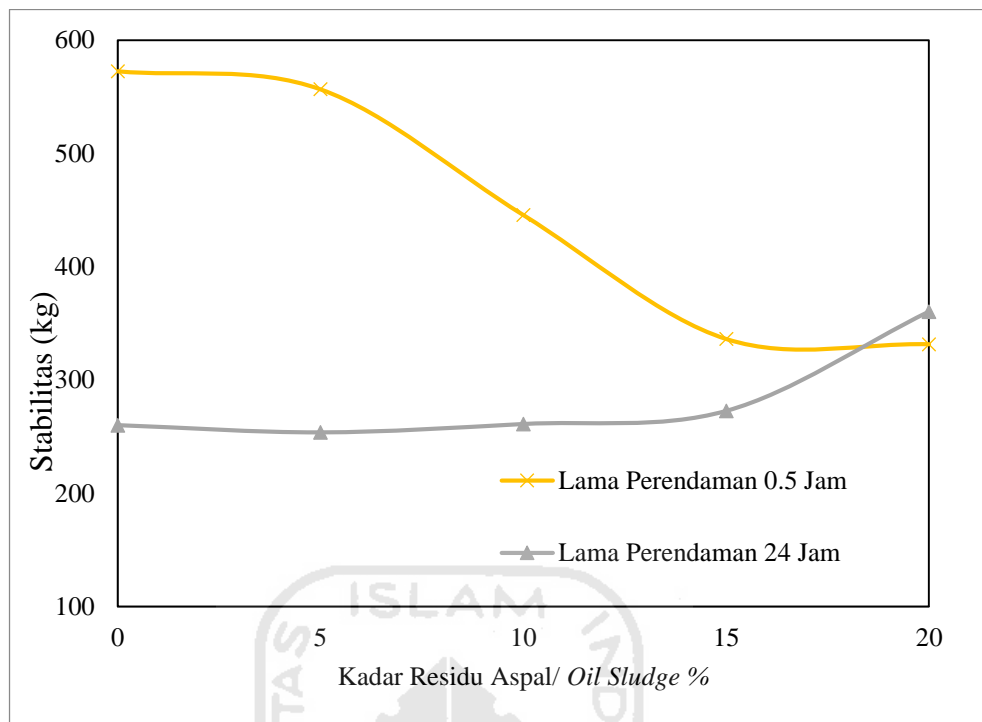
Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *density* paling tinggi pada kadar *oil sludge* 20%, yaitu sebesar 2,10 gr/cc, serta nilai *density* terendah dengan *oil sludge* 0% paling rendah yaitu sebesar 2,07 gr/cc

Nilai *density* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* sama-sama mengalami peningkatan seperti penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* seiring bertambahnya presentase campuran yang digunakan. Nilai *density* campuran aspal porus dengan *oil sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. Nilai *density* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 2,10% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene* tertinggi adalah 2,007%.

5.2.6 Tinjauan Karakteristik *Immersion Test*

1. Stabilitas Rendaman

Stabilitas rendaman 24 jam dimaksudkan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat perubahan suhu, cuaca, dan air. Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan rendaman 24 jam dapat dilihat, Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Kadar *Oil Sludge*

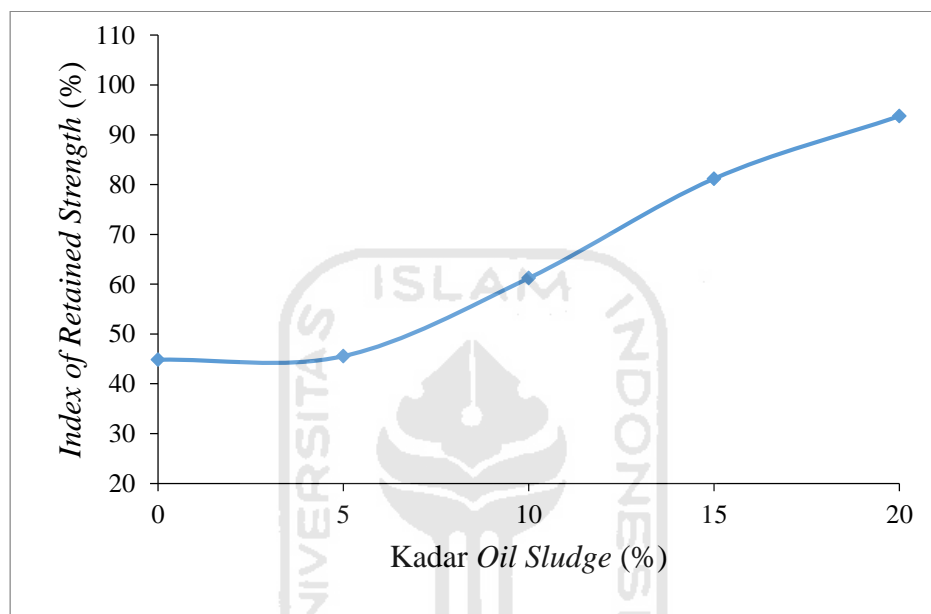
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan rendaman 30 menit, tetapi dengan semakin bertambahnya kadar *oil sludge* nilai stabilitas akibat rendaman meningkat dan melebihi stabilitas rendaman standar. Hal ini disebabkan proses perendaman, air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat tetapi semakin bertambahnya proporsi kadar substitusi aspal per 60/70 dengan *oil sludge* perkerasan memiliki stabilitas yang meningkat dengan perendaman 24 jam. Hal ini terjadi karena kadar *oil sludge* memiliki nilai penetrasi yang lebih tinggi dan memiliki kadar mineral yang cukup tinggi yaitu 48,05% dari kadar *oil sludge* sehingga mineral dapat mengisi rongga campuran sehingga lebih padat.

2. *Index of Retained Strength*

Index of retained strength didapatkan dari proses perendaman, untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Perendaman dalam penelitian ini yaitu

perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C.

Nilai *index of retained strength* dihitung dengan membandingkan nilai stabilitas setelah direndam 24 jam (S2) dengan nilai stabilitas yang direndam selama 0,5 jam (S1).



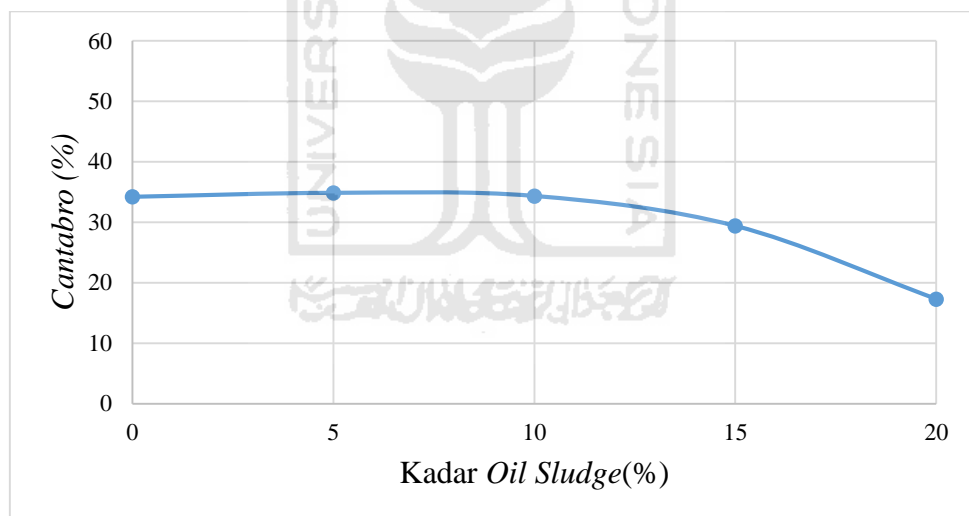
Gambar 5.25 Grafik Hubungan Nilai *IRS* dengan Kadar Substitusi *Oil Sludge*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.25 dapat diketahui bahwa nilai *index of retained strength* meningkat dengan bertambahnya kadar *oil sludge*. Peningkatan dari nilai *index of retained strength* dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 24,2%. Hal ini disebabkan karena nilai penetrasi *oil sludge* yang lebih tinggi, sehingga semakin mudah perkerasan ini untuk dipadatkan dan kadar mineral *oil sludge* juga cukup tinggi yang dapat mengisi rongga campuran sehingga volume rongga dalam campuran menjadi semakin rapat (rongga semakin kecil). Dengan semakin rapatnya perkerasan aspal air semakin sulit menembus kedalam campuran, sehingga berakibat (ketahanan terhadap gangguan air semakin tinggi) meningkatkan nilai *IRS*.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, didapatkan nilai *index of retained strength* paling tinggi pada kadar *oil sludge* 20%, yaitu sebesar 93,8 (%), serta nilai *index of retained strength* terendah dengan *oil sludge* 0% paling rendah yaitu sebesar 44,8 %.

5.2.7 Tinjauan Karakteristik *Cantabro Test*

Pengujian *Cantabro* bertujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap benturan dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian dan analisis menggunakan Persamaan 3.19 dapat dilihat pada Tabel 5.23. *Cantabro Test* merupakan metode pengujian untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hubungan antara nilai *Cantabro* dengan variasi kadar substitusi *oil sludge* sebagai pengganti dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.



Gambar 5. 26 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai *Cantabro*

Berdasarkan Gambar 5.26 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* semakin menurun seiring dengan penambahan kadar substitusi *oil sludge*, meskipun demikian penurunan pada nilai *Cantabro* tidak signifikan. Penurunan dari nilai *Cantabro* dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 7,2%. Penurunan pada hasil pengujian *Cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung

meningkat, ini disebabkan kehilangan berat pada campuran yang semakin kecil dengan persentase penambahan substitusi *oil sludge*.

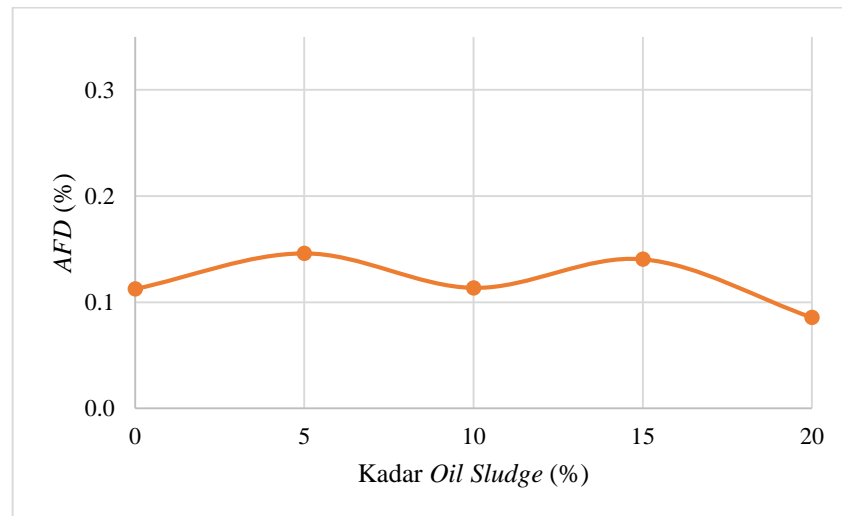
Hal ini dipengaruhi oleh nilai penetrasi aspal yang telah disubstitusi lebih besar dan kandungan mineral *oil sludge* sehingga cenderung lebih mudah dalam pemadatan sehingga ketahannya terhadap benturan semakin besar. Selain itu juga nilai *VFWA* yang semakin meningkat seiring bertambahnya kadar *oil sludge* juga mempengaruhi penurunan pada nilai *Cantabro* karena rongga yang terselimuti oleh aspal semakin meningkat yang disebabkan oleh aspal yang telah disubstitusi dapat semakin mengisi rongga yang dalam campuran.

Nilai *Cantabro* paling tinggi terdapat pada campuran Porus dengan kadar *oil sludge* 0% yaitu sebesar 34,22%, sedangkan nilai paling rendah terdapat pada campuran aspal porus dengan kadar *oil sludge* 20% yaitu sebesar 17,32%.

Nilai *Cantabro* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* sama-sama mengalami penurunan seperti penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* dengan bertambahnya presentasi aspal yang digunakan. Nilai *Cantabro* campuran aspal porus dengan *oil sludge* memiliki nilai yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang berarti lebih memiliki nilai keausan yang lebih tinggi. Nilai *Cantabro* terendah campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 17,32% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene 35* tertinggi adalah 14,46%.

5.2.8 Tinjauan Terhadap Karakteristik *Asphalt Flow Down Test*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Oil Sludge* dengan nilai *AFD* pada campuran Porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai *Asphalt Flow Down*

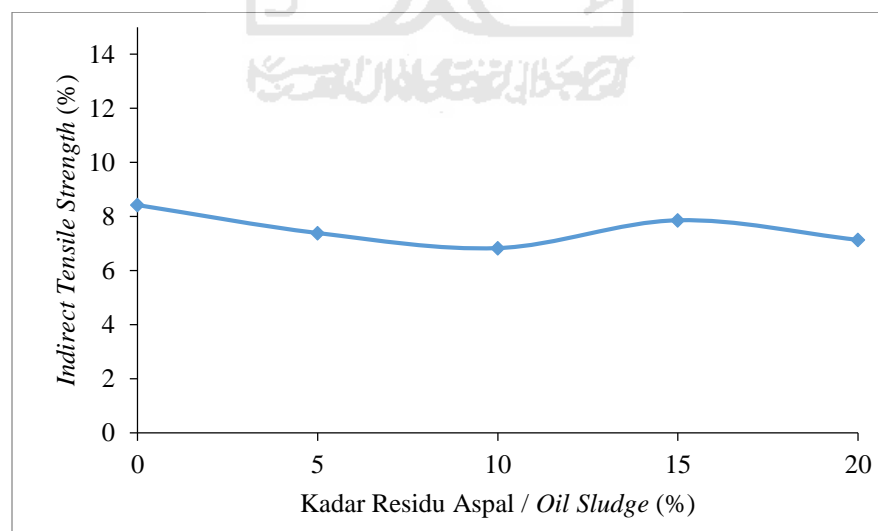
Berdasarkan Gambar 5.27 dapat dilihat bahwa nilai *Asphalt Flow Down* relatif semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar substitusi aspal pen 60/70 dengan *oil sludge* pertamina, tetapi pada substitusi kadar *oil sludge* 5% dan 15% menunjukkan peningkatan dan pada kadar selanjutnya menunjukkan penurunan hingga batas substitusi tertinggi. Perubahan dari nilai *Asphalt Flow Down* dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 33,6%. Penurunan pada hasil pengujian *Asphalt Flow Down* menunjukkan bahwa pemisahan antara aspal dengan agregat semakin menurun seiring bertambahnya kadar *oil sludge*, dengan adanya substitusi aspal pengikatan yang terjadi terhadap agregat oleh aspal lebih baik seiring bertambahnya substitusi aspal.

Hasil dari uji *Asphalt Flow Down* didapat nilai pemisahan aspal terhadap penambahan persentase kadar *oil sludge* pada proporsi 0% yaitu sebesar 0,11%, kadar *oil sludge* 5% sebesar 0,15%, kadar *oil sludge* 10% sebesar 0,11%, kadar *oil sludge* 15% sebesar 0,14%, dan kadar *oil sludge* 20% sebesar 0,09%. AAPA (2004) mensyaratkan batas nilai *Asphalt Flow Down* pada aspal porus sebesar maksimal 0,3%, karena pada batas tersebut campuran memiliki homogenitas pada kadar aspal tertentu yang dapat tercampur baik pada campuran aspal porus.

Nilai *Asphalt Flow Down* campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami penurunan dan penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami peningkatan dengan bertambahnya presentasi aspal yang digunakan. Nilai *Asphalt Flow Down* campuran aspal porus dengan *oil sludge* memiliki nilai yang lebih rendah dari penelitian sebelumnya yang berarti aspal yang meleleh lebih sedikit dibandingkan dengan campuran porus dengan penambahan *Resiprene 35*. Nilai *Asphalt Flow Down* tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah 0,15% sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene 35* tertinggi adalah 0,341%.

5.2.9 Tinjauan Karakteristik *Indirect Tensile Strength* pada kadar Aspal Optimum

Indirect Tensile Strength adalah pengujian untuk mengetahui kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban. Dari hasil pengujian *Indirect Tensile Strength Test* terhadap variasi substitusi *oil sludge* kedalam campuran perkerasan aspal porus Tabel 5.20. Adapun hubungan proporsi penggantian *oil sludge* dengan *Indirect Tensile Strength* pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.28 berikut ini.



Gambar 5. 28 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai ITS

Berdasarkan Gambar 5.28 dapat dilihat bahwa dengan adanya substitusi proporsi kadar *oil sludge* kedalam campuran porus memiliki nilai *Indirect Tensile*

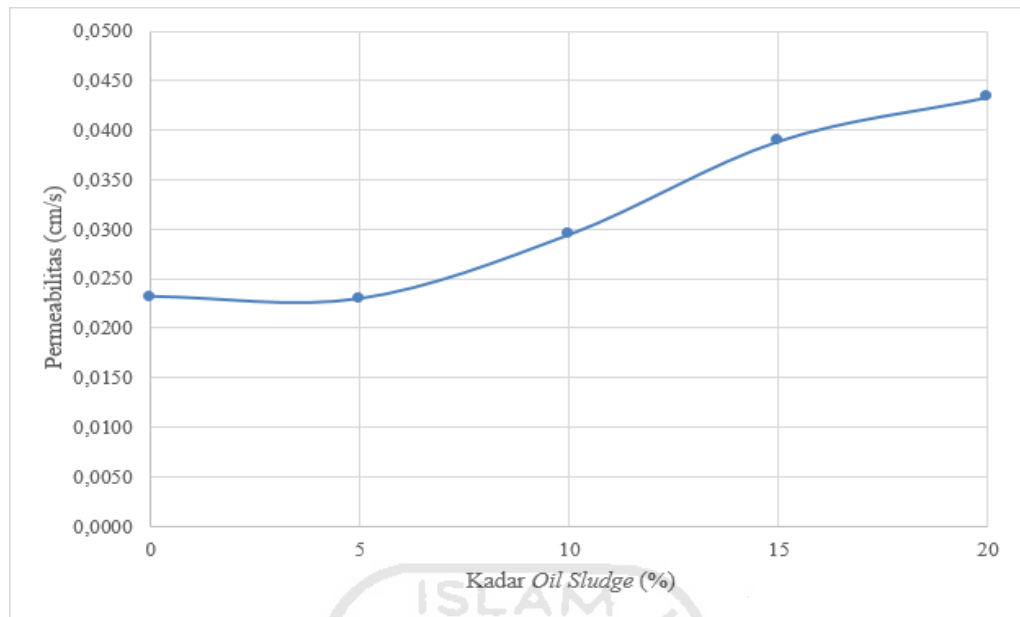
Strength yang menurun dan akan meningkat setelah mencapai kadar optimum. Peningkatan pada nilai *Indirect Tensile Strength* terjadi secara tidak signifikan. Perubahan dari nilai *Indirect Tensile Strength* dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 16,8%. Penurunan pada nilai *Indirect Tensile Strength* menunjukan bahwa kuat tarik pada campuran Porus menggunakan substitusi *oil sludge* 5% dan 10% menyebabkan kuat tarik cenderung semakin menurun dan pada kadar 15% dan 20% mengalami peningkatan dari kadar *oil sludge* sebelumnya, hal ini menggambarkan bahwa keawetan pada campuran semakin menurun, tetapi mengalami peningkatan pada kadar *oil sludge* 15% dan 20% hal ini terjadi karena semakin tinggi kadar *oil sludge* maka aspal yang telah disubstitusi semakin lentur.

Hal ini disebabkan karena sifat aspal yang telah disubstitusi memiliki penetrasi yang lebih tinggi sehingga aspal menjadi lebih encer dan kemampuan aspal mengikat agregat dan mempertahankan pada posisinya semakin berkurang. Dengan meningkatnya kadar *oil sludge* nilai *VITM* menurun, nilai *VFWA* meningkat dan nilai *VMA* menurun. Hal ini disebabkan rongga telah semakin padat seiring bertambahnya *oil sludge*, namun aspal yang berada dalam campuran tidak seluruhnya mengikat agregat tetapi karena sifatnya yang lebih encer menjadi campuran semakin lentur sehingga menyebabkan penurunan nilai *ITS* dan peningkatan pada kadar *oil sludge* yang lebih banyak.

Nilai *ITS* paling tinggi pada campuran Aspal Porus dengan kadar substitusi *oil sludge* 0% yaitu sebesar 8,42 kg/cm², sedangkan nilai paling rendah pada campuran Aspal Porus dengan kadar substitusi *oil sludge* 10% yaitu sebesar 6,83 kg/cm².

5.2.10 Tinjauan Karakteristik Permeabilitas Test

Permeabilitas aspal adalah derajat kerapatan konstruksi campuran aspal untuk dapat ditembus oleh zat cair. Hasil pengujian permeabilitas campuran aspal Porus pada kadar aspal optimum dengan menggunakan substitusi kadar *oil sludge* pada setiap persentase dapat dilihat pada Tabel 5.21. Adapun hubungan proporsi kadar *oil sludge* dengan koefisien permeabilitas pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.29 berikut ini.



Gambar 5.29 Grafik Hubungan Antara Kadar *Oil Sludge* dengan Nilai Permeabilitas

Berdasarkan Gambar 5.29 dapat dilihat bahwa semakin besar proporsi substitusi aspal yang dilakukan kedalam campuran maka nilai koefisien permeabilitas semakin meningkat. Peningkatan nilai koefisien permeabilitas secara tidak signifikan. Peningkatan dari nilai permeabilitas dianalisis dengan analisis statistik anova menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, dengan angka analisis anova yaitu 16,4%. Pada pengujian permaeabilitas pada campuran Aspal Porus menggunakan substitusi *oil sludge* menunjukkan bahwa campuran tersebut tidak kedap karena memiliki nilai pori yang tinggi yang dikategorikan dalam drainase sedang.

Pada campuran Aspal Porus dengan substitusi *oil sludge* dengan nilai *VFWA* semakin besar serta nilai *VITM* dan *VMA* yang semakin kecil tidak selamanya menghasilkan nilai koefisien permeabilitas yang semakin kecil, hal ini disebabkan rongga yang semakin padat masih dapat dilewati oleh air karena adanya mineral yang terkandung dalam *oil sludge*. Nilai mineral yang terkandung dalam *oil sludge* semakin bertambah dengan adanya penambahan kadar substitusi yang dilakukan dan mengakibatkan rongga campuran terisi oleh mineral, maka *VITM* dan *VMA* semakin kecil karena mineral yang terkandung lebih banyak tetapi tidak menghambat aliran air yang meresap.

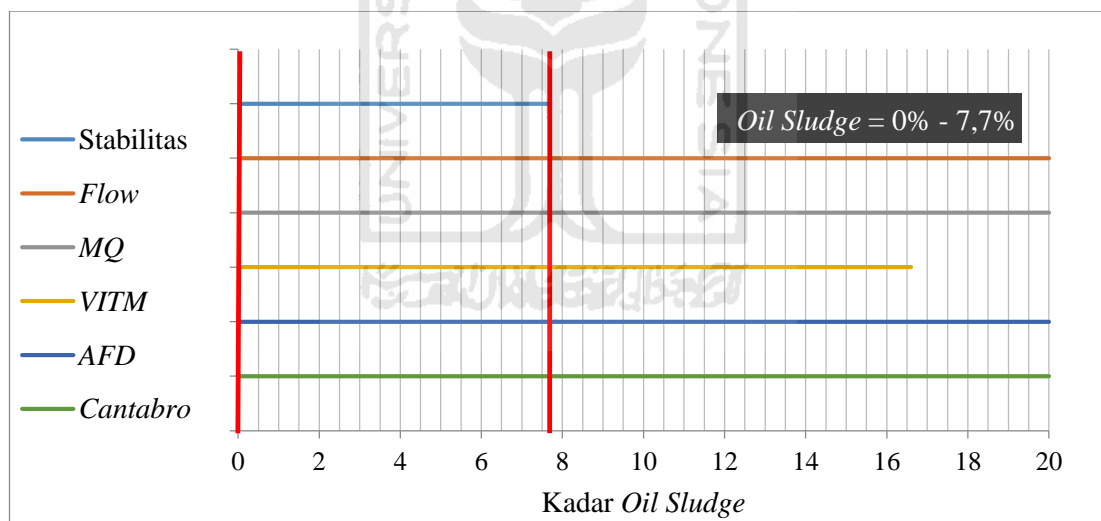
Nilai permeabilitas paling tinggi terdapat pada campuran Aspal Porus dengan kadar substitusi *oil sludge* 20% yaitu sebesar $4,33 \times 10^{-2}$ cm/detik, nilai permeabilitas paling rendah terdapat pada campuran Aspal Porus dengan kadar substitusi *oil sludge* 5% yaitu sebesar $2,30 \times 10^{-2}$ cm/dtk.

Nilai permeabilitas campuran Aspal Porus dengan substitusi *Oil Sludge* mengalami peningkatan dan penelitian aspal porus sebelumnya dengan penambahan *Resiprene 35* mengalami penurunan dengan bertambahnya presentasi aspal yang digunakan. Nilai permeabilitas campuran aspal porus dengan *oil sludge* memiliki nilai yang lebih rendah dari penelitian sebelumnya yang menggunakan *resiprene 35*, yang berarti campuran aspal dengan *resiprene 35* memiliki nilai permeabilitas yang lebih baik. Nilai permeabilitas tertinggi campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* adalah $4,33 \times 10^{-2}$ cm/detik sedangkan campuran Aspal Porus dengan *Resiprene 35* tertinggi adalah $3,07 \times 10^{-1}$ cm/detik.

5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi *Oil Sludge*

Penelitian menyeluruh yang dilakukan telah mendapatkan hasil yang dapat diambil kesimpulan dengan berbagai macam hasil yang didapat. Perubahan sifat fisik yang dimiliki aspal dapat terlihat dari berubahnya nilai penetrasi dan titik lembek yang semakin lebih tinggi seiring bertambahnya kadar *oil sludge* yang mengakibatkan meningkatnya nilai indeks penetrasi pada kadar tertinggi yaitu dengan indeks penetrasi 1,387 sehingga aspal semakin tidak peka terhadap perubahan temperatur yang terjadi. Karakteristik *marshall* yang didapat dari adanya substitusi ini menunjukkan perubahan pada setiap karakteristik *marshall* yang dimiliki. Perubahan yang terjadi dari beberapa karakteristik *marshall* menunjukkan perubahan yang signifikan pada nilai stabilitas dan *flow* yaitu dengan nilai 0,000 dan 0,001 sedangkan pada *MQ*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *density* tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Ketahanan terhadap rendaman juga ditunjukkan dengan adanya substitusi *oil sludge* yang dengan nilai IRS yang semakin meningkat terus dengan bertambahnya kadar *oil sludge*, tetapi tidak termasuk dalam kenaikan yang signifikan dengan nilai 0,242. Nilai *Indirect Tensile Strength* tidak banyak berubah dan menunjukkan perubahan yang tidak

signifikan dengan nilai 0,168. Sedangkan nilai permeabilitas yang didapat menunjukkan peningkatan resapan yang dimiliki oleh campuran aspal porus walau dengan semakin berkurangnya rongga yang tersedia dalam campuran tetapi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan nilai 0,164. Ketahanan pada benturan atau *cantabro* juga mengalami penurunan nilai kehilangan berat yang berarti semakin baik dalam menahan benturan, perubahan cukup besar tetapi belum dapat dikategorikan sebagai perubahan yang signifikan dengan nilai 0,072. Dari semua pengujian yang dilakukan didapatkan karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi *oil sludge* menghasilkan pengaruh yang berbeda pada setiap parameternya. Untuk mendapatkan kadar *oil sludge* yang masih memenuhi spesifikasi AAPA (2004) untuk dapat digunakan sebagai bahan perkerasan aspal porus adalah dengan penentuan kadar *oil sludge* yang dapat digunakan secara grafis. Hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro* dan *AFD* dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5. 30 Penentuan Kadar *Oil Sludge* yang dapat digunakan

Dari grafik karakteristik *Marshall*, *Cantabro*, dan *AFD* dapat dijadikan satu rangkuman berdasarkan batas-batas spesifikasi yang disyaratkan oleh AAPA (2004), untuk dapat menentukan sampai batas kadar berapa *oil sludge* dapat digunakan. Nilai kadar *oil sludge* yang dapat digunakan berdasar Gambar 5.30 yang memenuhi batas spesifikasi AAPA (2004) adalah sampai kadar maksimal *oil sludge* 7,7%.

BAB VI SIMPULAN & SARAN

6.1 SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran Aspal Porus dengan substitusi Aspal Pen 60/70 dengan Residu Aspal /*Oil Sludge* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan adanya substitusi *oil sludge* pada Aspal Pen 60/70 sifat fisik aspal menjadi meningkat seiring bertambahnya *oil sludge* yang digunakan, hal ini dapat dibuktikan dengan pengujian viskositas, penetrasi dan titik leleh yang telah dilakukan yang berarti bahwa aspal semakin lentur tetapi memiliki titik leleh yang lebih tinggi. Serta nilai *Penetration index (PI)* menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kadar *oil sludge* nilai *PI* semakin besar. Nilai *PI* tertinggi pada kadar *oil sludge* 20% yaitu sebesar 1,387 yang berarti bahwa semakin tinggi kadar *oil sludge* maka semakin tidak peka terhadap perubahan temperatur.
2. Residu Aspal / *Oil Sludge* layak dan dapat digunakan sebagai substitusi Aspal Pen 60/70 pada kadar *Oil Sludge* 5%. Hal ini dapat dibuktikan dengan pengujian *Marshall*, *Cantabro* dan *AFD* yang hasilnya memenuhi persyaratan *AAPA* (2004). Campuran Aspal Porus yang telah disubstitusi *oil sludge* mengalami perubahan pada karakteristik *Marshall*, yaitu nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* yang menurun dengan siring bertambahnya *oil sludge*, sedangkan nilai *VFWA*, *density* dan *IRS* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *Oil Sludge*. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada campuran dengan kadar *oil sludge* 5% yaitu sebesar 556,63 kg dengan *flow* 3,48 mm. Meskipun mengalami perubahan dalam karakteristik *Marshall* pada nilai stabilitas dan *flow* mengalami perubahan yang signifikan, namun pada nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA*, *MQ*, dan *density* menunjukkan perubahan ini tidak signifikan.
3. Nilai kuat tarik tak langsung / *ITS* mengalami peningkatan setelah mencapai kadar optimum, dengan nilai *ITS* tertinggi yaitu 7,862 kg/cm² tetapi perubahan yang tidak signifikan dengan meningkatkan proporsi kadar *oil sludge*.

4. Nilai dari permeabilitas mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi *oil sludge* dengan nilai tertinggi pada kadar *oil sludge* 20% yaitu sebesar $4,33 \times 10^{-2}$ cm/detik tetapi tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan.
5. Nilai persen kehilangan berat / *Cantabro* menurun seiring dengan penambahan substitusi *oil sludge*, semakin besar komposisi campuran *oil sludge* maka semakin kecil pula persen kehilangan beratnya. Dengan nilai *cantabro* terendah yaitu sebesar 17,32% pada kadar *oil sludge* 20%, meskipun demikian peningkatan yang ditunjukkan cukup besar tetapi tidak signifikan.

6.2 SARAN

Beberapa saran dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan penelitian campuran Aspal Porus dengan *Oil Sludge* sebagai substitusi Aspal Pen 60/70. Merujuk pada hasil penelitian campuran Aspal Porus maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Perlu adanya penelitian lanjutan terkait dengan nilai *IRS* yang dihasilkan, karena menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya *oil sludge* yang berarti bahwa dengan adanya *oil sludge* dapat lebih tahan terhadap rendaman yang terjadi.
2. Penggunaan *oil sludge* dapat digunakan sebagai bahan perkerasan sebagai upaya meningkatkan nilai guna sampai kadar substitusi maksimal 7,7 %.
3. Penggunaan *oil sludge* dapat digunakan sebagai substitusi pada agregat karena memiliki nilai mineral yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriawan. Ahmad Tanjung, 2010, Analisis Karakteristik *Marshall* pada aspal beton campuran panas dengan bahan tambah asbuton butir, *Skripsi*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Australian Asphalt Pavement Association, 2004, *National Asphalt Specification*, AAPA Technology Committe, Australia.
- Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*, Direktorat Bina Teknik, Jakarta
- Cabrera, J.G. & Hamzah, M.O., 1994. Aggregate Grading Design for Porous Asphalt. In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds), Performance and Durability of Bituminous Materials, *Proceeding of Symposium, University of Leeds*, London.
- Daulay, A.H. 2009. Pemanfaatan limbah *Oil Sludge* Pertamina sebagai Bahan Baku dalam Pembuatan Keramik Konstruksi, *Tesis* Pascasarjana Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Diana, I Wayan, 2000, *Sifat-Sifat Teknik dan Permeabilitas pada Aspal Porus*, *Thesis*, Universitas Gunadarma, .
- Djumari dan Djoko Sarjono, 2009, *Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal dengan Metode Pemampatan Kering*, *Media Teknik Sipil*, Volume IX, Januari 2009 ISSN 1412-0976, Surakarta.
- Fransiskus, S, 2009, Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah (Additive) Terhadap Karakteristik Beton Aspal, *Tugas Akhir*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Hamdani, Muhammad R, 2015, Studi Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Berpori, *Tugas Akhir*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hermadi. Madi, Yohanes Ronny, dan Anwar Yamin, 2015. Pemanfaatan Oil-Sludge Sebagai Bahan Peremaja Buton Rock Asphalt Untuk Campuran Dingin (Utilization Of Oil-Sludge As A Rejuvenator Of Buton Rock Asphalt For Cold Mix). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 2015, 32.1: 44-53.

- Kennedy, T.W, (1977). "Characterization of Asphalt Pavement Materials Using Indirect Tensile Test". *Proceeding Assosiation of Ashpalt Paving Tecnologists*. Vol.46 132-150. San Antonio, Texas.
- Khalid, H. & Perez Jimenez, F.K., 1994. Performances Assessment of Spanish and British Porous Asphalts. In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds). Performance and Durability of Bituminous Materials, *Proceeding of Symposium*, University of Leeds, London.
- Mulyono, R.M, Desrina dan Evita H. Legowo. 2000. "Pemanfaatan Limbah Lumpur Berminyak (Oily-sludge) Melalui Proses Solidifikasi dengan Aspal Buton untuk Pembuatan Material Jalan", *Lembar Publikasi Lentigos Vol 34 No.3/2000*. Hal.38 - 45.
- Prawiro, Bangun & Pasca, Nugraha, 2014, Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite, *Tugas Akhir*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Purwanto, 2011, *Statistika untuk Penelitian*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Pusjatan, 2013, *Institute Of Road Engineering Agency For Research And Development Ministry Of Public Works And Housing* (<http://www.pusjatan.pu.go.id/index.php/en/perkerasan-jalan/256-aspal-porus>, Diakses 7 Maret 2016).
- Putranto, Rizky Eka. 2011. Penggunaan Material Galian Dari Desa Koripan, Matesih Untuk Pembuatan Aspal Porous, *Tugas Akhir*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ranski, Fauzan, 2014, Kajian Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pada Campuran Superpave, *Tugas Akhir*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- RSNIM-01-2003, 2003, *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan alat Marshall*, Pusjatan-Balitbang PU, Bandung.
- Saleh, Sofyan & Angraini, Reni, 2014, Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70, *Jurnal Teknik Sipil Vol. 21 No. 3 Desember 2014*, Aceh.
- Sarwono. D, Wardhani. A. K. 2007. Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt. *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, Edisi Juli:131-138.

- Setyawan, A & Hassan, K.E., 2002. *Cold mix, cold laid semi-flexible grouted macadams, mix design and properties*. In Zoorob, S.E. , Collop, A.C. & Brown, S.E. (eds). *Performance of Bituminous and Hydroulic Materials in Pavement*. Nothingham.
- Setyawan, A. & Sanusi. (2005). Observasi Propertis Aspal Porus Berbagai Gradasi dengan Material Lokal. *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, 15- 20.
- Sukirman, Silvia, 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta.
- Sukirman, Silvia, 1993, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Suprpto, T.M, 2004, *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Sukandarrumidi, 2002, *Metode Penelitian, Petunjuk Praktis untuk Peneliti Pemula*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sugiono, 2010, *Statistika untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Suryaman. F, 2009, Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah (Additive) Terhadap Karakteristik Beton Aspal, *Tugas Akhir*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Suryabrata, Sumadi, 1994, *Metodologi Penelitian*, RajaGrafindo Persada, Jakarta.
- Takahashi, and Partl, Manfred. 1999, *Improvement of Mix Design for Porous Asphalt. EMPA Japan and Switzerland*
- Zakaria, Hanafi, 2012, Analisis Penggunaan Pasir Sungai Bengawan Solo Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Ashpalt Concrete Binder Course (AC-BC), *Tugas Akhir*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Zuliansyah, 2015, Pengaruh Penggunaan Rubberized Asphalt Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus, *Tugas Akhir*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472. Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	11,52	12,24
2	Berat vicnometer + Aquades (gr)	28,29	24,43
3	Berat Aquades (gr) (2 - 1)	16,77	12,19
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	12,37	13,35
5	Berat Aspal (gr) (4 - 1)	0,85	1,11
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquades (gr)	28,36	24,52
7	Berat Aquades (gr) (6 - 4)	15,99	11,17
8	Volume Aspal (gr) (3 - 7)	0,78	1,02
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Volume (5/8)	1,09	1,09
10	Rata - Rata Bj Aspal	1,09	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 8 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Per 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan	0 ^o c	10.20 WIB
	Selesai Pemanasan	0 ^o c	10.50 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	24 ^o c	13.40 WIB
	Selesai	24 ^o c	14.40 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	24 ^o c	14.45 WIB
	Selesai	24 ^o c	15.20 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1(mm)	2(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	68	68		
2	69	69		
3	68	68		
4	68	69		
5	69	69		
Rata2	68,4	68,6		

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

H. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahitjar

Lampiran 3 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan	Aspal dipanaskan	15 menit	27 ⁰ c
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	130 ⁰ c
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25 ⁰ c	60 menit	130 ⁰ c
4	Pemeriksaan	Diuji daktalitas pada suhu 25 ⁰ c, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	27 ⁰ c

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	1	164 cm	Tidak putus
2	2	164 cm	Tidak putus
3	Rata - rata	164 cm	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPHAL

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan	27 ⁰ c	
	Selesai Pemanasan	130 ⁰ c	
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	130 ⁰ c	
	Selesai	27 ⁰ c	
3	Diperiksa		
	Mulai	35 ⁰ c	
	Selesai		

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	312 ⁰ c	316 ⁰ c
2	Benda Uji 2	⁰ c	⁰ c
3	Rata - rata	312 ⁰ c	316 ⁰ c

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

AS

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 14 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam CCL4 / TCE



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

No	Urutan Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai Pemanasan	09.00 WIB	24 °c
		Selesai Pemanasan		
2	Penimbangan	Mulai	09.20 WIB	24 °c
3	Pelarutan	Mulai	09.23 WIB	24 °c
4	Penyaringan	Mulai	09.31 WIB	24 °c
		Selesai	09.32 WIB	24 °c
5	Di oven	Mulai	09.45 WIB	100 °c
6	Penimbangan	Mulai	09.55 WIB	24 °c

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda uji	
		1	2
1	Berat erlen meyer kosong	75,23 gr	68,89 gr
2	Berat erlen meyer kosong+aspal	76,65 gr	70,23 gr
3	Berat aspal	1,42 gr	1,34 gr
4	Berat kertas saringan bersih	0,52 gr	0,53 gr
5	Berat kertas saringan bersih+mineral	0,58 gr	0,56 gr
6	Berat mineral	0,06 gr	0,03 gr
7	Persentase mineral	2 %	2,23 %
8	Aspal yang larut	98 %	97,76 %
9	Rata – rata aspal yang larut	97,88 %	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 10 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472. Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai		
	Selesai		
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °c	15.00
	Selesai	48,2 °c	15.20

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°c)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °c	00:00	00:00		
2	10 °c	02:30	02:31		
3	15 °c	04:12	04:13		
4	20 °c	05:43	05:44		
5	25 °c	07:23	07:24		
6	30 °c	09:07	09:08		
7	35 °c	10:55	10:56		
8	40 °c	12:39	12:40		
9	45 °c	14:24	14:25		
10	50 °c	15:48	15:49	48,2 °C	48 °C
11	55 °c				
12	60 °c				

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 14 Juni 2016

Peneiti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis *Oil Sludge*

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jI. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *OIL SLUDGE*

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	12,46	12,40
2	Berat vicnometer + Aquades (gr)	24,50	24,90
3	Berat Aquades (gr) (2 - 1)	12,04	12,50
4	Berat vicnometer + <i>Oil Sludge</i> (gr)	13,08	13,09
5	Berat <i>Oil Sludge</i> (gr) (4 - 1)	0,62	0,69
6	Berat Vicnometer + <i>Oil Sludge</i> + Aquades (gr)	24,58	24,94
7	Berat Aquades (gr) (6 - 4)	11,50	11,85
8	Volume <i>Oil Sludge</i> (gr) (3 - 7)	0,54	0,65
9	Berat Jenis <i>Oil Sludge</i> = Berat / Volume (5/8)	1,15	1,06
10	Rata - Rata Bj <i>Oil Sludge</i>	1,11	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

#

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 10 Agustus 2016

Peneliti

Muhammad Bahtiar

Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

No	Pemeriksaan	Sampel		
		1	2	Rata-Rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	1577	1582	1579,5
2	Berat benda uji dalam air (BA)	1000	1000	1000
3	Berat benda uji kering oven (BK)	1565	1575	1570
4	Berat jenis (bulk) = $BK / (BJ - BA)$	2,71	2,71	2,71
5	Berat jenis (SSD) = $BJ / (BJ - BA)$	2,73	2,72	2,73
6	Berat jenis (semu) = $BK / (BK - BA)$	2,77	2,74	2,75
7	Penyerapan air = $((BJ - BK) / BK) \times 100\%$	0,767	0,444	0,61

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016
Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 9 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

PROSES BENDA UJI

No	Keterangan	Pembacaan	
		Suhu	Waktu
1	Mulai pemanasan benda uji	27 ^o c	10.20 WIB
2	Selesai pemanasan benda uji	170 ^o c	10.50 WIB
3	Mulai didiamkan pada suhu ruang	170 ^o c	10.51 WIB
4	Selesai didiamkan pada suhu ruang	27 ^o c	11.20 WIB
5	Mulai direndam Aquades	27 ^o c	11.21 WIB
6	Selesai direndam Aquades	27 ^o c	11.21 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	% Yang Diselimuti Aspal
1	Benda Uji 1	99%
2	Benda Uji 2	99%
3	Rata - Rata	99%

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 10 Pemeriksaan Keausan Agregat



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)

No	JENIS GRADASI SARINGAN		F	
	LOLOS	TERTAHAN	BENDA UJI (gr)	
			1	2
1	72,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")		
2	63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")		
3	50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")		
4	37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")		
5	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")		
6	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (0,5")		
7	12,5 mm (0,5")	9,5 mm (3/8")		
8	9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	2500	2500
9	6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No.4)	2500	2500
10	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)		
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000	5000
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE (B)		4125,62	3281,53
14	KEAUSAN = ((A - B)/A) X 100%		17,49 %	34,37 %
15	Rata -Rata Keausan		25,93	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

(Signature)

(Signature)

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016

Peneliti,

(Signature)

Muhammad Bahtiar

Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

No	Pemeriksaan	Sampel		
		1	2	Rata-Rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	500	500	500
2	Berat Vicnometer + Air (B)	636	558	597
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	955	882	918,5
4	Berat benda uji kering oven (BK)	487,25	486,5	486,88
5	Berat jenis (bulk) = $BK / (B + 500) - BT$	2,72	2,73	2,73
6	Berat jenis (SSD) = $500 / (B + 500) - BT$	2,76	2,84	2,80
7	Berat jenis (semu) = $BK / (B + BK) - BT$	2,90	2,99	2,94
8	Penyerapan air = $((500 - BK) / BK) \times 100\%$	2,617	2,775	2,70

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 15 Juni 2016
Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 12 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

No	Keterangan	Benda Uji		Rata2
		1	2	
1	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama ± 10 menit	Mulai	10.10	10.11
		Selesai	10.20	10.21
2	Waktu pengendapan benda uji setelah digoncang sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl_2	Mulai	10.23	10.23
		Selesai	10.43	10.43
3	Clay Reading (Pembacaan lumpur) inchi	4,7	5,4	
4	Sand Reading (Pembacaan pasir)	3,2	4	
5	Sand Equivalent = $(4/3) \times 100$	68,09	74,07	71,08%
6	Kadar Lumpur = $100 - \text{Sand Equivalent}$			28,92%

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

AND

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Juni 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 13 Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70



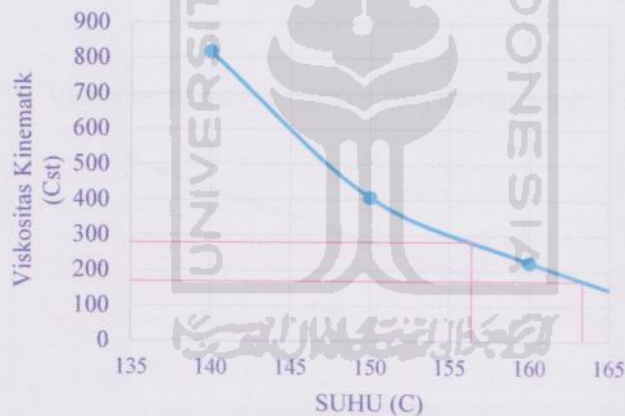
LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN VISKOSITAS ASPHAL

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pematatan (°C)
140	389	818,00	163,50	156,20
150	193	407,50		
160	106	222,85		



Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 4 September 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 14 Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 10%

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN VISKOSITAS ASPHAL
DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE 10%

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pematatan (°C)
140	201	424,17	160,00	152,20
160	90	188,67		



Mengetahui,
 Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 6 September 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 15 Pemeriksaan Viskositas Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 20%

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN VISKOSITAS ASPHAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 20%

Suhu (°C)	Uji (Detik)	Viskositas (Cst)	Suhu Pencampuran (°C)	Suhu Pematatan (°C)
140	142	299,15	152,70	142,50
160	62	128,25		



Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 September 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 16 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 10%



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UJI Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 10%

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan	0 ^o c	10.20 WIB
	Selesai Pemanasan	0 ^o c	10.50 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	25 0 ^o c	13.40 WIB
	Selesai	25 0 ^o c	14.40 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	25 0 ^o c	14.45 WIB
	Selesai	25 0 ^o c	15.20 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1(mm)	2(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	77	79		
2	76	75		
3	79	76		
4	75	73		
5	78	75		
Rata2	77	75,6		

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 Oktober 2016

Peneliti,

Muhammad Bantiar

Lampiran 17 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 20%



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 20%**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan	$^{\circ}\text{C}$	10.20 WIB
	Selesai Pemanasan	$^{\circ}\text{C}$	10.50 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	25 $^{\circ}\text{C}$	13.40 WIB
	Selesai	25 $^{\circ}\text{C}$	14.40 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	25 $^{\circ}\text{C}$	14.45 WIB
	Selesai	25 $^{\circ}\text{C}$	15.20 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1(mm)	2(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	74	96		
2	70	88		
3	89	86		
4	84	86		
5	78	86		
Rata2	79	88,4		

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 Oktober 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 5%



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 5%

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai		
	Selesai		
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °c	15.10
	Selesai	51 °c	15.30

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°c)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °c	00:00	00:00		
2	10 °c	03:35	03:36		
3	15 °c	05:16	05:17		
4	20 °c	06:44	06:45		
5	25 °c	08:15	08:15		
6	30 °c	09:50	09:51		
7	35 °c	11:05	11:05		
8	40 °c	13:30	13:31		
9	45 °c	15:16	15:17		
10	50 °c	17:08	17:30	50 °C	51 °C
11	55 °c				
12	60 °c				

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 28 November 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 10%



**LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 10%**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai		
	Selesai		
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	13.10
	Selesai	53,5 °C	13.30

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °C	00:00	00:00		
2	10 °C	02:31	02:32		
3	15 °C	04:00	04:01		
4	20 °C	05:28	05:29		
5	25 °C	06:49	06:50		
6	30 °C	08:10	08:11		
7	35 °C	09:56	09:57		
8	40 °C	11:40	11:41		
9	45 °C	13:18	13:19		
10	50 °C	15:05	15:06		
11	55 °C	16:20	16:09	53,5 °C	53 °C
12	60 °C				

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 29 November 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 15%



**LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE* 15%**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai		
	Selesai		
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	13.40
	Selesai	54,5 °C	14.00

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °C	00:00	00:00		
2	10 °C	03:26	03:27		
3	15 °C	04:46	04:47		
4	20 °C	06:25	06:26		
5	25 °C	07:28	07:29		
6	30 °C	09:00	09:01		
7	35 °C	10:20	10:21		
8	40 °C	12:08	12:09		
9	45 °C	14:01	14:02		
10	50 °C	15:48	15:49		
11	55 °C	17:30	17:22	54,5 °C	54 °C
12	60 °C				

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 29 November 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar

Lampiran 21 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Oil Sludge* 20%



**LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL
DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE 20%**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai		
	Selesai		
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	14.10
	Selesai	55 °C	14.30

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °C	00:00	00:00		
2	10 °C	03:13	03:14		
3	15 °C	05:04	05:05		
4	20 °C	06:40	06:41		
5	25 °C	08:06	08:07		
6	30 °C	09:34	09:35		
7	35 °C	11:25	11:26		
8	40 °C	13:00	13:01		
9	45 °C	14:47	14:48		
10	50 °C	16:43	16:44		
11	55 °C	18:27	18:28	55 °C	55 °C
12	60 °C				

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 23 November 2016

Peneliti,

Muhammad Bahtiar



**LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14.4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENCARI KAO

Sampe1	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VTM (%)	o	p	Koreksi		q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
																		Te bal	Stab. (kg)			
5A	73,43	5,26	5,00	1155,01	1198,20	650,94	547,26	2,111	2,569	9,681	72,484	17,834	27,52	35,18	17,83	53	1129,77	0,8019	905,93	5,25	278,75	
5 B	75,15	5,26	5,00	1178,59	1210,48	661,41	549,07	2,147	2,569	9,846	73,720	16,433	26,28	37,47	16,43	35	746,07	0,7732	576,84	3,70	155,90	
5 C	73,86	5,26	5,00	1167,39	1196,63	654,60	542,03	2,154	2,569	9,880	73,968	16,152	26,03	37,95	16,15	40	852,65	0,7958	676,85	4,23	160,01	
5 D	74,19	5,26	5,00	1152,35	1199,67	644,04	555,63	2,074	2,569	9,514	71,228	19,258	28,77	33,07	19,26	36	767,39	0,7876	604,41	3,66	165,14	
5 E	73,73	5,26	5,00	1178,43	1219,56	658,27	561,29	2,100	2,569	9,631	72,105	18,264	27,89	34,53	18,26	33	703,44	0,7963	560,11	3,25	172,34	
								2,087					28,33	33,80	18,76				582,26	3,46	168,74	
5.5 A	76,28	5,82	5,50	1191,25	1225,15	655,86	569,39	2,093	2,550	10,559	71,487	17,954	28,51	37,03	17,95	50	1065,82	0,7590	808,96	3,50	231,13	
5.5 B	72,43	5,82	5,50	1178,29	1207,77	657,18	550,39	2,140	2,550	10,798	73,111	16,090	26,89	40,16	16,09	37	788,70	0,8171	644,47	3,89	165,67	
5.5 C	74,49	5,82	5,50	1181,41	1216,98	657,06	559,90	2,110	2,550	10,647	72,086	17,267	27,91	38,14	17,27	45	959,24	0,7821	750,18	3,35	223,93	
								2,101					28,21	37,59	17,61				779,57	3,43	227,58	
6A	74,91	6,38	6,00	1184,77	1218,95	655,91	563,04	2,104	2,532	11,583	71,507	16,910	28,49	40,65	16,91	49	1044,50	0,7762	810,71	3,38	239,85	
6B	76,43	6,38	6,00	1175,96	1205,47	652,57	552,90	2,127	2,532	11,708	72,277	16,015	27,72	42,23	16,02	52	1108,45	0,7572	839,28	3,60	233,13	
6C	74,21	6,38	6,00	1162,86	1193,22	649,13	544,09	2,137	2,532	11,765	72,629	15,606	27,37	42,98	15,61	41	873,97	0,7873	688,09	5,10	134,92	
6D	75,08	6,38	6,00	1144,3	1186,32	644,48	541,84	2,112	2,532	11,625	71,767	16,608	28,23	41,18	16,61	51	1087,13	0,7740	841,40	3,23	260,49	
6E	74,74	6,38	6,00	1160,96	1203,80	649,95	553,85	2,096	2,532	11,559	71,233	17,229	28,77	40,11	17,23	38	810,02	0,7782	630,37	3,43	183,78	
6F	74,23	6,38	6,00	1185,32	1211,65	651,87	559,78	2,117	2,532	11,656	71,957	16,387	28,04	41,56	16,39	49	1044,50	0,7869	821,89	3,75	219,17	
								2,115					28,14	41,37	16,50				831,64	3,49	239,83	
6.5 A	75,35	6,95	6,50	1162,98	1190,66	643,85	546,81	2,127	2,515	12,683	71,891	15,426	28,11	45,12	15,43	46	980,55	0,7796	755,60	4,80	157,42	
6.5 B	75,43	6,95	6,50	1172,59	1198,51	651,21	547,30	2,142	2,515	12,776	72,420	14,803	27,58	46,33	14,80	45	959,24	0,7697	738,29	3,60	205,08	
6.5 C	74,28	6,95	6,50	1154,38	1185,55	642,11	543,44	2,124	2,515	12,667	71,803	15,531	28,20	44,92	15,53	38	810,02	0,7859	636,63	3,75	169,77	
								2,131					27,96	45,46	15,25				710,17	4,05	177,42	
7A	74,17	7,53	7,00	1151,29	1180,86	636,07	544,79	2,113	2,497	13,571	71,050	15,378	28,95	46,88	15,38	40	852,65	0,7880	671,89	3,60	186,64	
7B	73,51	7,53	7,00	1158,23	1185,04	636,80	548,24	2,113	2,497	13,567	71,029	15,404	28,97	46,83	15,40	45	959,24	0,8004	767,75	4,35	176,49	
7C	72,91	7,53	7,00	1140,87	1160,13	635,80	524,33	2,176	2,497	13,973	73,155	12,872	26,85	52,05	12,87	36	767,39	0,8112	622,48	3,85	161,68	
7D	73,08	7,53	7,00	1127,11	1163,97	633,18	530,79	2,123	2,497	13,637	71,393	14,970	28,61	47,67	14,97	31	660,81	0,8086	534,30	4,31	123,97	
7E	73,82	7,53	7,00	1165,35	1193,94	646,74	547,20	2,130	2,497	13,677	71,601	14,722	28,40	48,16	14,72	30	639,49	0,7946	508,12	4,20	120,98	
								2,127					28,50	47,91	14,85				521,21	4,26	122,47	

- t = Tebal Benda Uji
- a = % Aspal Terhadap Batuan
- b = % Aspal Terhadap Campuran
- c = Berat Kering Sebelum drendam
- d = Berat Basah Jenuh (SSD)
- e = Berat didalam Air
- f = Volume (isi), (d-e)
- g = Berat Isi (density), (w/f)

- h = B.J Maksimum, (100 - (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))
- i = (b x g) : B.J Asp
- j = (100 - b) x g : B.J Agregat
- k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)
- l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - j)
- m = Rongga Terisi Aspal (VFWA), (100 x (i/f))
- n = Rongga Dalam Campuran (VTM), (100 - (100 x (g/h)))
- o = Pembacaan Arloji Stabilitas

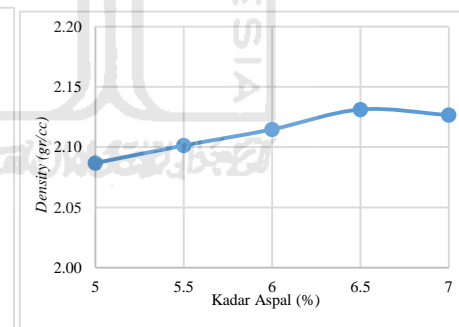
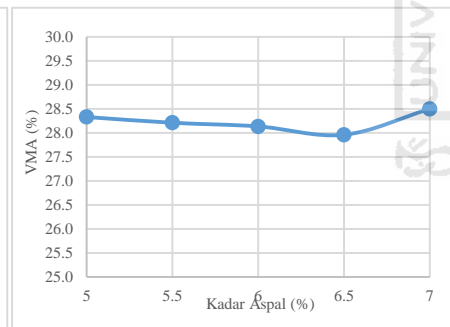
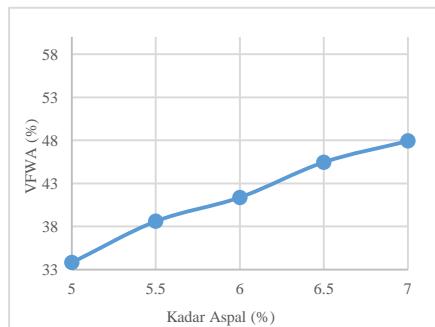
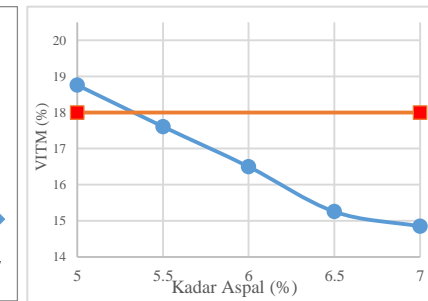
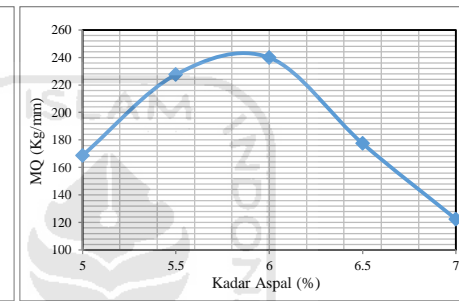
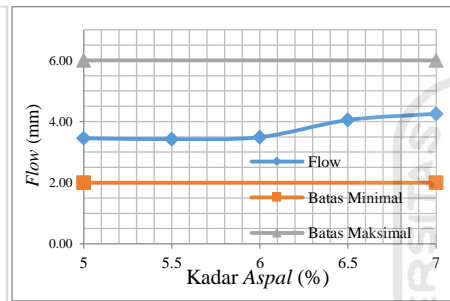
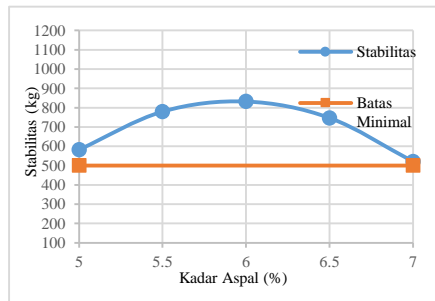
- p = o x Kalibrasi Proving Ring
- q = p x Koreksi Tebal Benda Uji (stabilitas)
- r = Flow (Kekelahan Plastis)
- MQ = Marshall Quotient
- Suhu Pencampuran = ± 165°C
- Suhu Pemadatan = ± 155°C
- Suhu Waterbath = 60°C

B.J Agregat = 2,7661
 Kalibrasi Proving Ring = 21,316 kg
 Mengetahui,
 Ka.Lab Jalan Raya UII Peneliti,

(Signature)
 Ir. Subarkah, MT. Muhammad Bahiar



HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENCARI KAO



Lampiran 23 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk KAO

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UHI Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN
UNTUK MENCARI KAO**

Kadar Aspal (%)	Weight (g)			Berat Aspal meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai AFD (%)	AFD Rata2 (%)	
	m1	m2	m3					
5	1	299	1467	353	55	1168	4,68*	0,13
	2	431	1615	482	51	1185	4,32*	
	3	308	1485	354	46	1178	3,94*	
	4	300	1467	302	2	1167	0,17	
	5	311	1460	312	1	1149	0,09	
5,5	1	307	1487	396	89	1180	7,6*	7,31
	2	298	1478	382	84	1180	7,1*	
	3	295	1466	366	70	1171	6,0*	
6	1	301	1484	420	119	1183	10,08*	0,30
	2	298	1496	562	263	1197	21,99*	
	3	430	1609	442	12	1179	1,01*	
	4	300	1464	304	4	1164	0,34	
	5	305	1464	308	3	1159	0,26	
6,5	1	301	1442	336	35	1141	3,04*	8,23
	2	307	1400	454	147	1093	13,42*	
	3	431	1613	593	163	1182	13,75*	
7	1	299	1429	375	76	1131	6,74*	0,90
	2	296	1471	443	148	1175	12,58*	
	3	302	1467	498	196	1166	16,84*	
	4	200	1386	212	12	1186	1,01	
	5	305	1461	314	9	1156	0,78	

m1 = berat cetakan naman dengan alumunium foil

m2 = berat cetakan beserta campuran beraspal

m3 = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya UHI

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

Muhammad Bahtiar

Lampiran 24 Hasil Pengujian *Cantabro* untuk KAO

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274-898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PENGUJIAN *CANTABRO*
UNTUK MENCARI KAO**

Kadar Aspal (%)		Berat		Berat Sebelum diAbrasi	Kehilangan Berat	Rata2 <i>Cantabro</i> (%)
		(g)		(g)	(%)	
		<i>Mo</i>	<i>Mi</i>	(<i>Mo-Mi</i>)	L	
5	1	1186,54	327,76	858,78	72,38*	35,29
	2	1183,32	452,52	730,8	61,76*	
	3	1174,63	383,58	791,05	67,34*	
	4	1155,56	649,71	505,85	43,78	
	5	1189,64	870,74	318,9	26,81	
5,5	1	1189,64	486,23	703,41	59,13*	55,85
	2	1174,91	633,43	541,48	46,09*	
	3	1182,87	445,67	737,2	62,32*	
6	1	1182,52	638,52	544	46,00 *	30,58
	2	1173,92	612,43	561,49	47,83 *	
	3	1189,54	545,76	643,78	54,12 *	
	4	1165,64	790,67	374,97	32,17	
	5	1183,61	840,54	343,07	28,99	
6,5	1	1174,22	547,93	626,29	53,34*	50,82
	2	1181,76	562,88	618,88	52,37*	
	3	1191,95	634,65	557,3	46,76*	
7	1	1172,45	621,74	550,71	46,97*	17,65
	2	1193,53	676,21	517,32	43,34*	
	3	1184,93	734,34	450,59	38,03*	
	4	1154,38	878,97	275,41	23,86	
	5	1185,77	1050,04	135,73	11,45	

Mo = berat sebelum di abrasi (g)

Mi = berat setelah siabrasi (g)

L = presentase kahilangan berat

Mengetahui,

Ka.Lab.Jalan Raya UII

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

Muhammad Bahtiar



HASIL PENGUJIAN MARSHALL DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0A	78,20	5,60	5,30	1194,78	1232,61	635,84	596,77	2,002	2,558	9,735	68,542	21,723	31,46	30,95	21,72	37	788,70	0,7850	619,10	3,70	167,32
0B	79,64	5,60	5,30	1178,91	1213,50	645,46	568,04	2,075	2,558	10,091	71,053	18,856	28,95	34,86	18,86	32	682,12	0,8030	547,77	4,25	128,89
0C	79,99	5,60	5,30	1186,95	1221,38	666,74	554,64	2,140	2,558	10,406	73,265	16,329	26,73	38,92	16,33	32	682,12	0,8074	550,76	2,50	220,30
								2,073					29,05	32,90	18,97				572,54	3,98	172,17
5A	79,03	5,60	5,30	1183,49	1221,35	647,91	573,44	2,064	2,558	10,035	70,657	19,308	29,34	34,20	19,32	32	682,12	0,7954	542,57	3,45	157,27
5B	76,59	5,60	5,30	1176,23	1216,85	650,95	565,90	2,079	2,558	10,107	71,159	18,734	28,84	35,04	18,74	35	746,07	0,7649	570,68	3,50	163,05
5C	81,74	5,60	5,30	1173,34	1204,61	664,02	540,59	2,170	2,558	10,554	74,308	15,139	25,69	41,08	15,15	22	468,96	0,8293	388,88	2,50	155,55
								2,071					29,09	34,62	19,03				556,63	3,48	160,16
10A	80,03	5,60	5,30	1197,57	1237,49	663,96	573,53	2,088	2,558	10,153	71,486	18,361	28,51	35,61	18,38	27	575,54	0,7762	446,72	2,85	156,74
10B	79,64	5,60	5,30	1197,4	1237,19	654,57	582,62	2,055	2,558	9,993	70,361	19,646	29,64	33,72	19,66	25	532,91	0,7572	403,50	2,60	155,19
10C	82,01	5,60	5,30	1151,66	1188,67	641,60	547,07	2,105	2,558	10,236	72,071	17,693	27,93	36,65	17,71	29	618,17	0,7873	486,70	2,90	167,83
								2,083					28,69	35,32	18,59				445,64	2,78	159,92
15A	78,56	5,60	5,30	1187,07	1226,56	662,35	564,21	2,104	2,559	10,230	72,030	17,740	27,97	36,58	17,77	20	426,33	0,7706	328,52	2,40	136,88
15B	78,01	5,60	5,30	1147,06	1188,83	636,71	552,12	2,078	2,559	10,102	71,126	18,772	28,87	34,99	18,80	20	426,33	0,7697	328,13	2,80	117,19
15C	74,85	5,60	5,30	1163,40	1201,34	650,06	551,28	2,110	2,559	10,261	72,250	17,489	27,75	36,98	17,52	21	447,64	0,7859	351,82	2,50	140,73
								2,097					28,20	36,18	18,03				336,16	2,57	131,60
20A	81,35	5,60	5,30	1197,70	1235,61	669,53	566,08	2,116	2,559	10,288	72,435	17,277	27,57	37,32	17,31	23	490,28	0,7880	386,34	2,75	140,49
20B	77,72	5,60	5,30	1192,77	1234,00	655,41	578,59	2,062	2,559	10,024	70,577	19,399	29,42	34,07	19,44	32	682,12	0,8004	545,95	3,45	158,25
20C	82,86	5,60	5,30	1203,44	1244,65	667,49	577,16	2,085	2,559	10,139	71,385	18,477	28,62	35,43	18,51	16	341,06	0,8112	276,66	2,35	117,73
								2,100					28,09	36,38	17,91				331,50	2,55	129,11

- t = Tebal Benda Uji
- a = % Aspal Terhadap Batuan
- b = % Aspal Terhadap Campuran
- c = Berat Kering Sebelum direndam
- d = Berat Basah Jenuh (SSD)
- e = Berat didalam Air
- f = Volume (isi), (d-e)
- g = Berat Isi (density), (c/f)

- h = B.J Maksimum, (100 : (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))
- i = (b x g) : B.J Asp
- j = (100 - b) x g : B.J Agregat
- k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)
- l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - j)
- m = Rongga Terisi Aspal (VFWA), (100 x (i/l))
- n = Rongga Dalam Campuran (VITM), (100 - (100 x (g/h)))
- o = Pembacaan Arloji Stabilitas
- p = o x Kalibrasi Proving Ring

- q = p x Koreksi Tebal Benda Uji (stabilitas)
- r = Flow (Kelelahan Plastis)
- MQ = Marshall Quotient
- Suhu Pencampuran = ± 165°C
- Suhu Pemadatan = ± 150°C
- Suhu Waterbath = 60°C
- B.J Aspal + RE 5% = 1,091
- B.J Aspal + RE 10% = 1,092
- B.J Aspal + RE 15% = 1,093
- B.J Aspal + RE 20% = 1,094

B.J Agregat = 2,7661
Kalibrasi Proving Rin = 21,3163 kg
Mengetahui,
Ka.Lab Jalan Raya UII Peneliti,

Ir. Subarkah, MT.

Lanjutan Lampiran 25 Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Oil Sludge

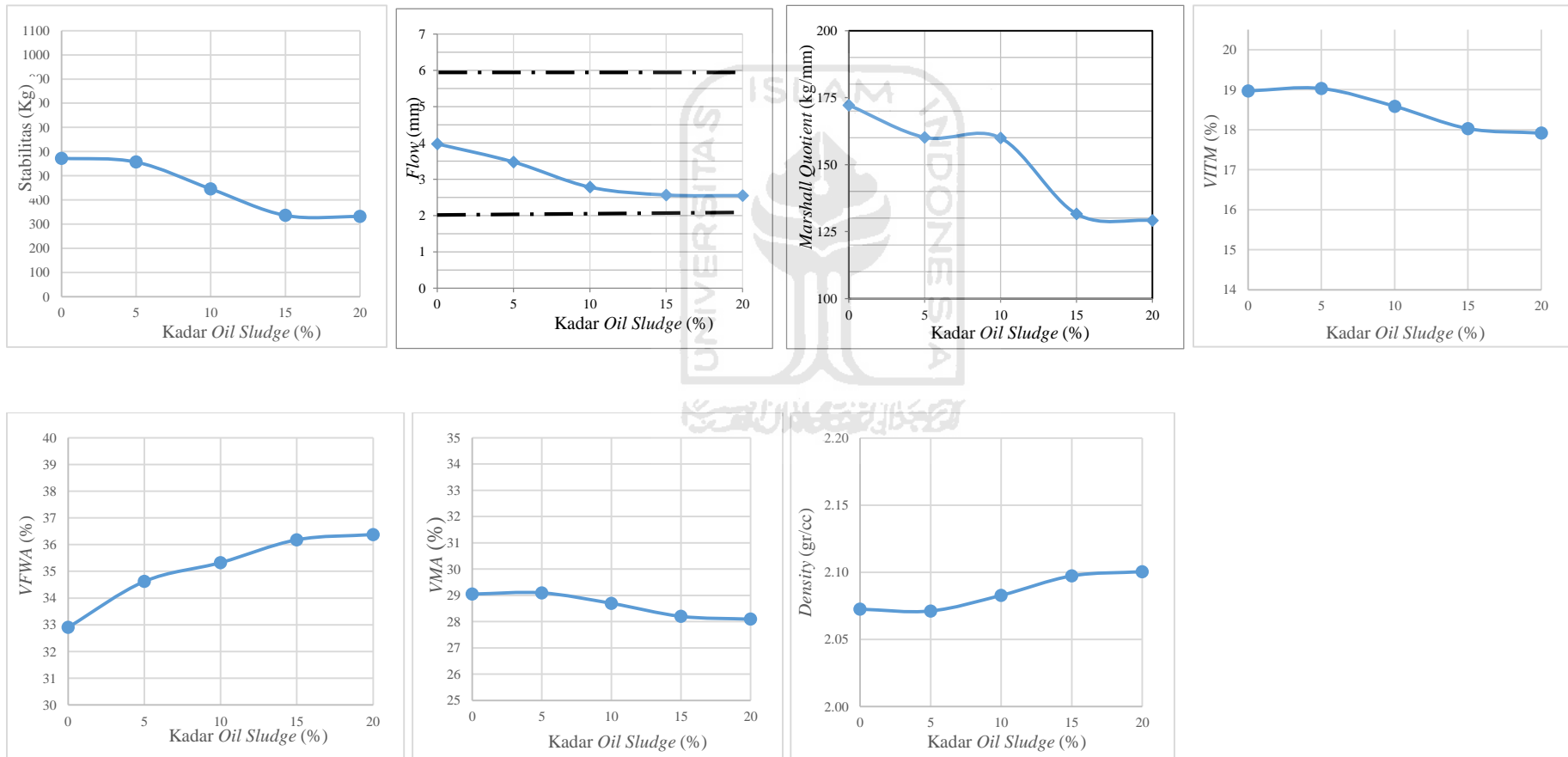


**LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

HASIL PENGUJIAN MARSHALL DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE



Lampiran 26 Hasil Pengujian Immersion dengan Substitusi Oil Sludge



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

HASIL PENGUJIAN IMMERSION DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFVA (%)	n VITM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0A	78,42	5,60	5,30	1176,95	1217,07	659,31	557,76	2,110	2,558	10,260	72,242	17,498	27,76	36,96	17,50	15	319,75	0,7877	251,87	6,20	40,62
0B	82,52	5,60	5,30	1186,88	1224,38	652,08	572,30	2,074	2,558	10,084	71,000	18,916	29,00	34,77	18,92	15	319,75	0,8390	268,27	3,55	75,57
0C	80,31	5,60	5,30	1183,65	1220,08	651,72	568,36	2,083	2,558	10,126	71,298	18,576	28,70	35,28	18,58	0	0,00	0,8114	0,00	0,00	0,00
								2,089					28,38	35,87	18,21				260,07	4,88	58,10
5A	80,41	5,60	5,30	1174,27	1219,35	653,19	566,16	2,074	2,558	10,085	71,008	18,907	28,99	34,79	18,92	14	298,43	0,8126	242,51	4,60	52,72
5B	81,66	5,60	5,30	1193,23	1228,31	665,30	563,01	2,119	2,558	10,305	72,558	17,137	27,44	37,55	17,15	15	319,75	0,8283	264,84	4,95	53,50
5C	81,78	5,60	5,30	1161,95	1202,36	652,91	549,45	2,115	2,558	10,283	72,400	17,317	27,60	37,26	17,33	9	191,85	0,8298	159,19	2,20	72,36
								2,103					28,22	36,17	18,03				253,68	4,78	53,11
10A	79,87	5,60	5,30	1166,78	1207,17	655,92	551,25	2,117	2,558	10,292	72,463	17,245	27,54	37,37	17,26	14	298,43	0,7762	231,63	3,60	64,34
10B	82,22	5,60	5,30	1167,7	1207,83	647,47	560,36	2,084	2,558	10,132	71,342	18,526	28,66	35,36	18,54	18	383,69	0,7572	290,52	4,60	63,16
10C	75,92	5,60	5,30	1168,77	1208,14	649,03	559,11	2,090	2,558	10,164	71,567	18,269	28,43	35,75	18,29	26	554,22	0,7873	436,35	4,20	103,89
								2,097					28,10	36,37	17,90				261,08	4,10	63,75
15A	74,99	5,60	5,30	1153,42	1198,86	648,12	550,74	2,094	2,559	10,183	71,700	18,117	28,30	35,98	18,14	3	63,95	0,7706	49,28	3,30	14,93
15B	79,16	5,60	5,30	1189,71	1228,02	661,07	566,95	2,098	2,559	10,203	71,841	17,955	28,16	36,24	17,98	22	468,96	0,7697	360,94	4,05	89,12
15C	78,86	5,60	5,30	1182,11	1222,77	657,94	564,83	2,093	2,559	10,176	71,650	18,173	28,35	35,90	18,20	11	234,48	0,7859	184,29	3,10	59,45
								2,095					28,25	36,07	18,09				272,61	3,58	74,28
20A	85,57	5,60	5,30	1173,16	1214,79	659,72	555,07	2,114	2,559	10,277	72,358	17,365	27,64	37,18	17,40	9	191,85	0,7880	151,18	2,85	53,04
20B	81,90	5,60	5,30	1195,99	1232,90	658,14	574,76	2,081	2,559	10,118	71,239	18,643	28,76	35,18	18,68	24	511,59	0,8004	409,47	3,45	118,69
20C	79,15	5,60	5,30	1186,10	1228,05	655,11	572,94	2,070	2,559	10,066	70,875	19,059	29,13	34,56	19,10	18	383,69	0,8112	311,24	2,95	105,51
								2,088					28,94	34,87	18,89				360,35	3,20	112,10

- t = Tebal Benda Uji
- a = % Aspal Terhadap Batuan
- b = % Aspal Terhadap Campuran
- c = Berat Kering Sebelum direndam
- d = Berat Basah Jenuh (SSD)
- e = Berat didalam Air
- f = Volume (isi), (d-e)
- g = Berat Isi (density), (c/f)

- h = B.J Maksimum, (100 : (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))
- i = (b x g) : B.J Asp
- j = (100 - b) x g : B.J Agregat
- k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)
- l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - j)
- m = Rongga Terisi Aspal (VFVA), (100 x (f/l))
- n = Rongga Dalam Campuran (VITM), (100 - (100 x (g/h)))
- o = Pembacaan Arloji Stabilitas
- p = o x Kalibrasi Proving Ring

- q = p x Koreksi Tebal Benda Uji (stabilitas)
- r = Flow (Kelelahan Plastis)
- MQ = Marshall Quotient
- Suhu Pencampuran = ± 165°C
- Suhu Pemadatan = ± 150°C
- Suhu Waterbath = 60°C
- B.J Aspal + RE 5% = 1,091
- B.J Aspal + RE 10% = 1,092
- B.J Aspal + RE 15% = 1,093
- B.J Aspal + RE 20% = 1,094

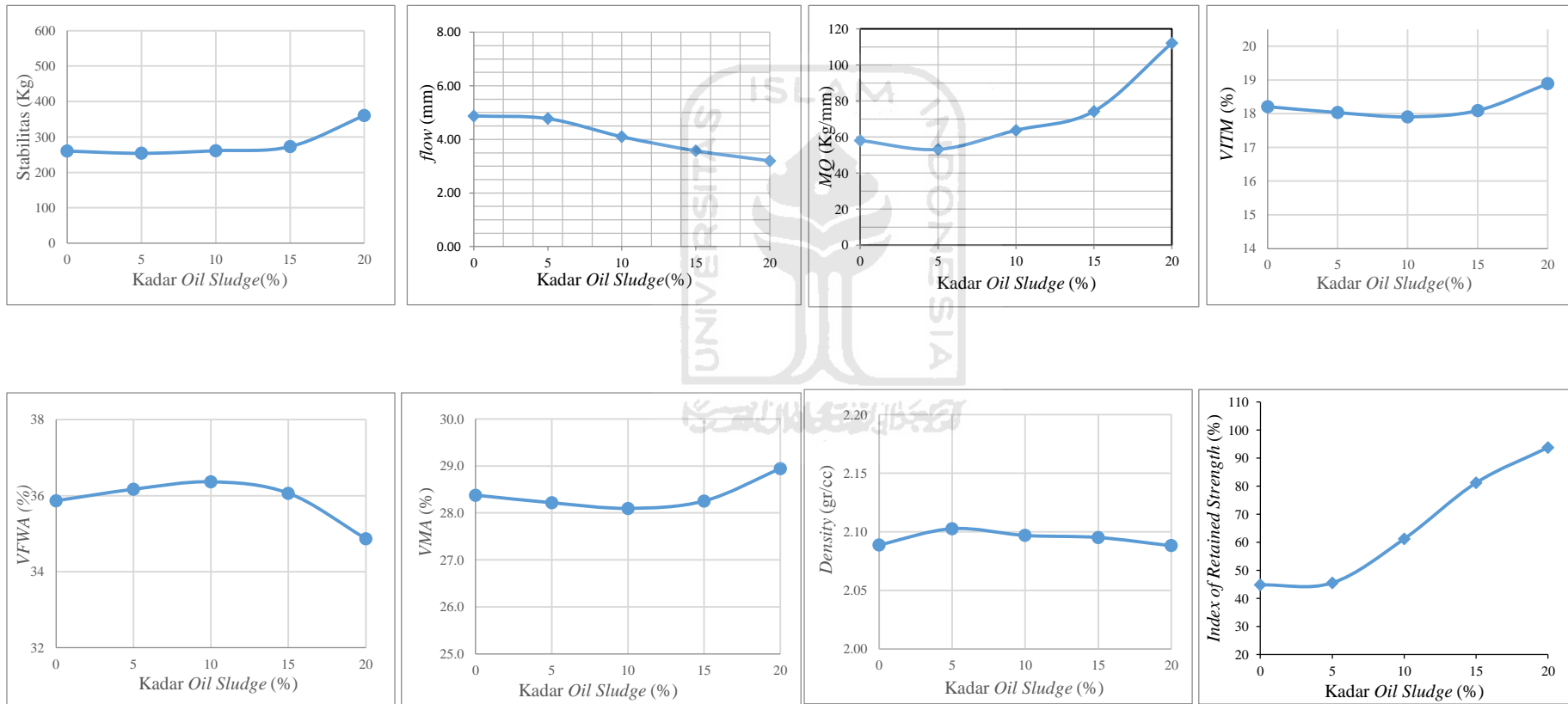
B.J Agregat = 2,7661
Kalibrasi Proving Ring = 21,3163 kg
Mengetahui,
Ka. Lab Jalan Raya UI Peneliti,

Ir. Subarkah, MT.

Muhammad Habibur



HASIL PENGUJIAN *IMMERSION* DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE*



Lampiran 27. Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* dengan substitusi *Oil Sludge*



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu: UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD)
DENGAN SUBSTITUSI OIL SLUDGE**

Kadar Oil Sludge (%)		Weight (g)			Berat aspal meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai AFD (%)	AFD Rata2 (%)
		m1	m2	m3				
0	A	309	1497	311	2	1188	0,17	0,11
	B	299	1477	300	1	1178	0,08	
	C	315	1498	316	1	1183	0,08	
5	A	199	1279	201	2	1089	0,2	0,15
	B	302	1487	304	2	1185	0,2	
	C	309	1492	310	1	1183	0,1	
10	A	207	1382	208	1	1175	0,09	0,11
	B	304	1474	306	2	1170	0,17	
	C	315	1493	316	1	1178	0,08	
15	A	300	1504	302	2	1204	0,17	0,14
	B	200	1360	201	1	1160	0,09	
	C	306	1486	308	2	1180	0,17	
20	A	315	1475	316	1	1160	0,09	0,09
	B	304	1477	305	1	1173	0,09	
	C	300	1468	301	1	1168	0,09	

m1 = berat cetakan nampun dengan *aluminium foil*

m2 = berat cetakan beserta campuran beraspal

m3 = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

Muhammad Bahtiar

Lampiran 28. Hasil Pengujian *Cantabro* dengan Substitusi *Oil Sludge*



LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PENGUJIAN *CANTABRO*
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE***

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Berat Benda Uji (g)		Berat Sebelum diAbrasi (g) (Mo-Mi)	Kehilangan Berat (%) L	Rata-rata Kehilangan Berat (%)	
	Mo	Mi				
0	A	1172.06	754.35	417.71	35.64	34.22
	B	1189.88	498.7	691.18	58.09	
	C	1156.21	777.02	379.19	32.80	
5	A	1175.49	714.96	460.53	39.18	34.87
	B	1166.06	304.04	862.02	73.93	
	C	1197.39	831.49	365.9	30.56	
10	A	1199.01	999.53	199.48	16.64	34.36
	B	1151.02	753.6	397.42	34.53	
	C	1194.02	785.87	408.15	34.18	
15	A	1172.79	751.08	421.71	35.96	29.40
	B	1201.84	1020.13	181.71	15.12	
	C	1174.26	905.93	268.33	22.85	
20	A	1180.58	860.07	320.51	27.15	17.32
	B	1197.58	1006.06	191.52	15.99	
	C	1198.83	975.38	223.45	18.64	

Mo = berat sebelum di abrasi (g)

Mi = berat setelah siabrasi (g)

L = presentase kahilangan berat

Mengetahui,

Kepala Lab.Jalan Raya UII

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

Muhammad Bahtiar

Lampiran 29. Hasil Pengujian *ITS* dengan Substitusi *Oil Sludge*

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

**PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS)*
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE***

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	Sampel	KAO (%)	Beban Puncak (kg)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	AG	<i>ITS</i>	
							(kg/cm ²)	Rata-rata
0	A	5,30	434,645	10	7,791	0,159	8,844	8,42
	B	5,30	435,989	10	7,810	0,159	8,849	
	C	5,30	371,579	10	7,774	0,159	7,577	
5	A	5,30	250,905	10	7,410	0,159	5,367	7,39
	B	5,30	333,238	10	7,639	0,159	6,915	
	C	5,30	380,542	10	7,669	0,159	7,866	
10	A	5,30	334,519	10	7,954	0,159	6,667	6,83
	B	5,30	334,477	10	7,578	0,159	6,997	
	C	5,30	528,327	10	7,622	0,159	10,988	
15	A	5,30	371,680	10	8,024	0,159	7,343	7,862
	B	5,30	374,554	10	8,029	0,159	7,395	
	C	5,30	424,168	10	7,600	0,159	8,847	
20	A	5,30	474,822	10	8,133	0,159	9,255	7,137
	B	5,30	365,407	10	7,937	0,159	7,298	
	C	5,30	348,336	10	7,916	0,159	6,976	

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

SA

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

Muhammad Bahtiar

Lampiran 30. Hasil Pengujian Permeabilitas dengan Substitusi *Oil Sludge*

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PENGUJIAN PERMEABILITAS
DENGAN SUBSTITUSI *OIL SLUDGE*

Kadar <i>Oil Sludge</i> (%)	a	L	A	t	h1	h2	k	Keterangan
	cm ²	cm	cm ²	s	cm	cm	cm/s	
0	31,13	7,89	314,16	33,21	20	8	0,0216	Drainase Sedang
0	31,13	7,90	314,16	33,36	20	6	0,0282	Drainase Sedang
0	31,13	8,09	314,16	32,37	20	9	0,0198	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0232	Drainase Sedang
5	31,13	7,78	314,16	31,81	20	10	0,0168	Drainase Sedang
5	31,13	7,86	314,16	21,66	20	9	0,0287	Drainase Sedang
5	31,13	7,79	314,16	26,28	20	9	0,0234	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0230	Drainase Sedang
10	31,13	7,79	314,16	22,06	20	10	0,0242	Drainase Sedang
10	31,13	7,91	314,16	16,03	20	4	0,0786	Drainase Sedang
10	31,13	7,73	314,16	11,28	20	12	0,0346	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0294	Drainase Sedang
15	31,13	7,64	314,16	54,69	21	11	0,0089	Drainase Sedang
15	31,13	7,97	314,16	10,99	20	9	0,0573	Drainase Sedang
15	31,13	8,05	314,16	21,78	21	12	0,0205	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0389	Drainase Sedang
20	31,13	7,81	314,16	14,05	20	10	0,0381	Drainase Sedang
20	31,13	8,06	314,16	10,06	20	11	0,0474	Drainase Sedang
20	31,13	7,94	314,16	7,63	20	13	0,0444	Drainase Sedang
						Rata-rata	0,0433	Drainase Sedang

Mengetahui,

Kepala Lab. Jalan Raya UII

[Signature]

Ir. Subarkah M.T.

Peneliti

[Signature]

Muhammad Bahtiar

Lampiran 31. Hasil Analisis Stabilitas dengan Anova

Descriptives

Stabilitas

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	5.7254E2	40.34696	23.29433	472.3159	672.7707	547.77	619.10
5%	2	5.5662E2	19.87677	14.05500	378.0393	735.2107	542.57	570.68
10%	3	4.4564E2	41.61051	24.02384	342.2738	549.0062	403.50	486.70
15%	3	3.3616E2	13.56625	7.83248	302.4562	369.8571	328.13	351.82
20%	2	3.3150E2	77.55547	54.84000	-365.3083	1028.3083	276.66	386.34
Total	13	4.4917E2	111.16752	30.83232	381.9968	516.3525	276.66	619.10

Test of Homogeneity of Variances

Stabilitas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.674	4	8	.055

ANOVA

Stabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	134801.973	4	33700.493	19.976	.000
Within Groups	13496.648	8	1687.081		
Total	148298.621	12			

Lampiran 32. Hasil Analisis *Flow* dengan Anova**Descriptives**

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0%	2		
5%	2	3.4750	.03536	.02500	3.1573	3.7927	3.45	3.50
10%	3	2.7833	.16073	.09280	2.3841	3.1826	2.60	2.90
15%	3	2.5667	.20817	.12019	2.0496	3.0838	2.40	2.80
20%	2	2.5500	.28284	.20000	.0088	5.0912	2.35	2.75
Total	12	3.0042	.59025	.17039	2.6291	3.3792	2.35	4.25

Test of Homogeneity of Variances

Flow

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.838	4	7	.022

ANOVA

Flow

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.461	4	.865	16.335	.001
Within Groups	.371	7	.053		
Total	3.832	11			

Lampiran 33. Hasil Analisis *MQ* dengan Anova

Descriptives

MQ

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	1.7217E2	45.89759	26.49899	58.1541	286.1859	128.89	220.30
5%	2	1.6016E2	4.08708	2.89000	123.4391	196.8809	157.27	163.05
10%	3	1.5992E2	6.89396	3.98023	142.7945	177.0455	155.19	167.83
15%	3	1.3160E2	12.62702	7.29021	100.2327	162.9673	117.19	140.73
20%	2	1.2911E2	16.09375	11.38000	-15.4866	273.7066	117.73	140.49
Total	13	1.5151E2	26.98442	7.48413	135.2019	167.8150	117.19	220.30

Test of Homogeneity of Variances

MQ

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.574	4	8	.119

ANOVA

MQ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3835.080	4	958.770	1.564	.273
Within Groups	4902.828	8	612.853		
Total	8737.908	12			

Lampiran 34. Hasil Analisis *VITM* dengan Anova**Descriptives**

VITM

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	18.9700	2.69668	1.55693	12.2711	25.6689	16.33	21.72
5%	2	19.0300	.41012	.29000	15.3452	22.7148	18.74	19.32
10%	3	18.5833	.99077	.57202	16.1221	21.0446	17.71	19.66
15%	3	18.0300	.67845	.39171	16.3446	19.7154	17.52	18.80
20%	2	17.9100	.84853	.60000	10.2863	25.5337	17.31	18.51
Total	13	18.5100	1.32033	.36619	17.7121	19.3079	16.33	21.72

Test of Homogeneity of Variances

VITM

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.615	4	8	.261

ANOVA

VITM

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.603	4	.651	.284	.880
Within Groups	18.316	8	2.290		
Total	20.919	12			

Lampiran 35. Hasil Analisis VFWA dengan Anova

Descriptives

VFWA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	2	32.9050	2.76479	1.95500	8.0644	57.7456	30.95	34.86
5%	2	34.6200	.59397	.42000	29.2834	39.9566	34.20	35.04
10%	3	35.3267	1.48541	.85760	31.6367	39.0166	33.72	36.65
15%	3	36.1833	1.05263	.60774	33.5685	38.7982	34.99	36.98
20%	2	36.3750	1.33643	.94500	24.3676	48.3824	35.43	37.32
Total	12	35.1942	1.74065	.50248	34.0882	36.3001	30.95	37.32

Test of Homogeneity of Variances

VFWA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.584	4	7	.068

ANOVA

VFWA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16.917	4	4.229	1.804	.233
Within Groups	16.412	7	2.345		
Total	33.328	11			

Lampiran 36. Hasil Analisis VMA dengan Anova

Descriptives

VMA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	29.0467	2.36648	1.36629	23.1680	34.9253	26.73	31.46
5%	2	29.0900	.35355	.25000	25.9134	32.2666	28.84	29.34
10%	3	28.6933	.86962	.50207	26.5331	30.8536	27.93	29.64
15%	3	28.1967	.59341	.34260	26.7226	29.6708	27.75	28.87
20%	2	28.0950	.74246	.52500	21.4242	34.7658	27.57	28.62
Total	13	28.6292	1.16137	.32211	27.9274	29.3310	26.73	31.46

Test of Homogeneity of Variances

VMA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.624	4	8	.259

ANOVA

VMA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.092	4	.523	.297	.872
Within Groups	14.093	8	1.762		
Total	16.185	12			

Lampiran 37. Hasil Analisis *Density* dengan Anova**Descriptives**

Density

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	2.0723	.06904	.03986	1.9008	2.2438	2.00	2.14
5%	2	2.0715	.01061	.00750	1.9762	2.1668	2.06	2.08
10%	3	2.0827	.02542	.01468	2.0195	2.1458	2.06	2.10
15%	3	2.0973	.01701	.00982	2.0551	2.1396	2.08	2.11
20%	2	2.1005	.02192	.01550	1.9036	2.2974	2.08	2.12
Total	13	2.0847	.03391	.00940	2.0642	2.1052	2.00	2.14

Test of Homogeneity of Variances

Density

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.610	4	8	.262

ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.002	4	.000	.300	.870
Within Groups	.012	8	.001		
Total	.014	12			

Lampiran 38. Hasil Analisis *IRS* dengan Anova**Descriptives**

Immersion

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	2	44.8250	5.86192	4.14500	-7.8422	97.4922	40.68	48.97
5%	2	45.5550	1.20915	.85500	34.6912	56.4188	44.70	46.41
10%	2	61.2200	5.38815	3.81000	12.8094	109.6306	57.41	65.03
15%	2	81.1900	40.74349	28.81000	-284.8758	447.2558	52.38	110.00
20%	2	93.7500	26.51650	18.75000	-144.4913	331.9913	75.00	112.50
Total	10	65.3080	26.25363	8.30213	46.5273	84.0887	40.68	112.50

Test of Homogeneity of Variances

Immersion

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.795E16	4	5	.000

ANOVA

Immersion

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3775.263	4	943.816	1.944	.242
Within Groups	2428.014	5	485.603		
Total	6203.276	9			

Lampiran 39. Hasil Analisis *ITS* dengan Anova

Descriptives

ITS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	8.4233	.73295	.42317	6.6026	10.2441	7.58	8.85
5%	2	7.3905	.67246	.47550	1.3487	13.4323	6.92	7.87
10%	2	6.8320	.23335	.16500	4.7355	8.9285	6.67	7.00
15%	3	7.8617	.85372	.49290	5.7409	9.9824	7.34	8.85
20%	2	7.1370	.22769	.16100	5.0913	9.1827	6.98	7.30
Total	12	7.6312	.79853	.23052	7.1238	8.1385	6.67	8.85

Test of Homogeneity of Variances

ITS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.077	4	7	.093

ANOVA

ITS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.924	4	.981	2.222	.168
Within Groups	3.091	7	.442		
Total	7.014	11			

Lampiran 40. Hasil Analisis Permeabilitas dengan Anova

Descriptives

Permeabilitas

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	.023200	.0044227	.0025534	.012213	.034187	.0198	.0282
5%	3	.022967	.0059618	.0034421	.008157	.037777	.0168	.0287
10%	2	.029400	.0073539	.0052000	-.036672	.095472	.0242	.0346
15%	2	.038900	.0260215	.0184000	-.194894	.272694	.0205	.0573
20%	3	.043300	.0047466	.0027404	.031509	.055091	.0381	.0474
Total	13	.031154	.0124033	.0034400	.023659	.038649	.0168	.0573

Test of Homogeneity of Variances

Permeabilitas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
20.457	4	8	.000

ANOVA

Permeabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	4	.000	2.165	.164
Within Groups	.001	8	.000		
Total	.002	12			

Lampiran 41. Hasil Analisis *Asphalt Flow Down* dengan Anova**Descriptives**

AFD

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	.1100	.05196	.03000	-.0191	.2391	.08	.17
5%	3	.1667	.05774	.03333	.0232	.3101	.10	.20
10%	3	.1133	.04933	.02848	-.0092	.2359	.08	.17
15%	3	.1433	.04619	.02667	.0286	.2581	.09	.17
20%	3	.0900	.00000	.00000	.0900	.0900	.09	.09
Total	15	.1247	.04794	.01238	.0981	.1512	.08	.20

Test of Homogeneity of Variances

AFD

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.025	4	10	.034

ANOVA

AFD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.011	4	.003	1.294	.336
Within Groups	.021	10	.002		
Total	.032	14			

Lampiran 42. Hasil Analisis *Cantabro* dengan Anova**Descriptives**

Cantabro

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	2	34.2200	2.00818	1.42000	16.1772	52.2628	32.80	35.64
5%	2	34.8700	6.09526	4.31000	-19.8937	89.6337	30.56	39.18
10%	2	34.3550	.24749	.17500	32.1314	36.5786	34.18	34.53
15%	2	29.4050	9.27017	6.55500	-53.8842	112.6942	22.85	35.96
20%	2	17.3150	1.87383	1.32500	.4793	34.1507	15.99	18.64
Total	10	30.0330	7.98743	2.52585	24.3191	35.7469	15.99	39.18

Test of Homogeneity of Variances

Cantabro

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.107E15	4	5	.000

ANOVA

Cantabro

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	443.498	4	110.875	4.242	.072
Within Groups	130.694	5	26.139		
Total	574.192	9			

Lampiran 43. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal dan *Oil Sludge*

Aspal / bitumen



Piknometer



Timbangan Digital

Lampiran 44. Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal



Stopwatch



Termometer



Senter



Cawan Berisi Aspal

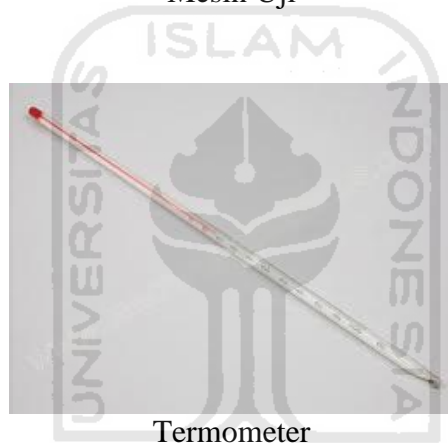


Alat Penetrasi

Lampiran 45. Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal



Mesin Uji



Termometer

Lampiran 46. Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal



Alat pengujian titik nyala dan titik bakar aspal



Termometer

Lampiran 47. Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE



Pengaduk



Larutan TCE



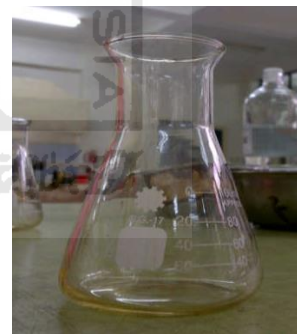
Timbangan Digital



Alat / Pompa Hisap



Oven



Bekker Glass



Aspal / Bitumen



Kertas Saring

Lampiran 48. Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal



StopWatch



Bejana Gelas



Alat Pemanas



Termometer



Cincin Kuningan

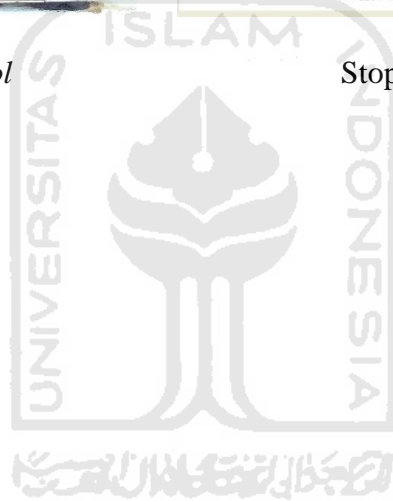
Lampiran 49. Gambar Alat Pemeriksaan Viskositas Aspal



Alat Saybolt Furol



Stopwatch



Lampiran 50. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



Keranjang Kawat



Timbangan + Keranjang



Oven



Kain Lap

Lampiran 51. Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



Cone dan Penumbuk



Piknometer



Oven



Timbangan

Lampiran 52. Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal



Termometer



Oven

*Bekker Glass*

Lampiran 53. Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat

Mesin *Los Angeles*

Bola Baja



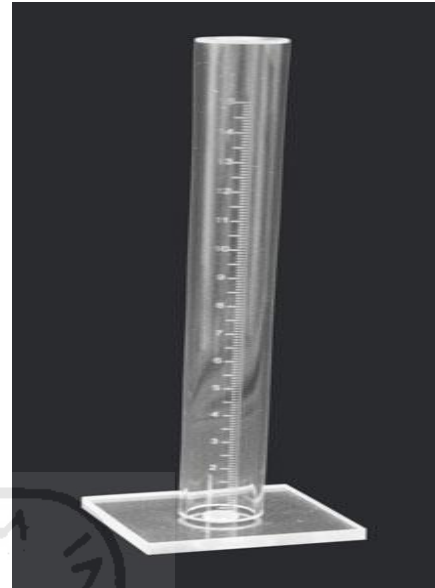
Timbangan



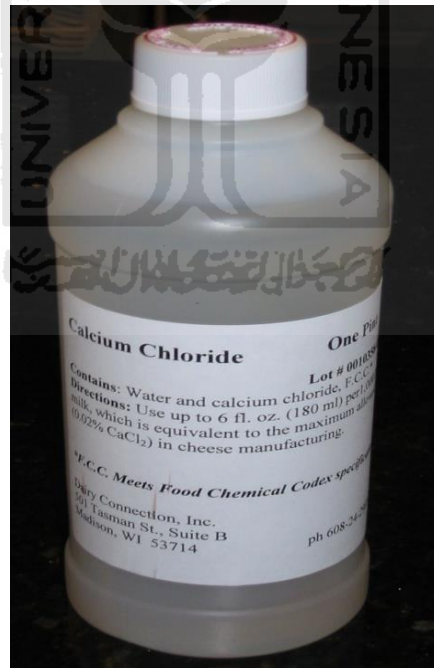
Oven

Lampiran 54. Gambar Alat Pemeriksaan *Sand Equivalent*

1 Set Alat Pengujian



Silinder Ukur

Larutan CaCl₂

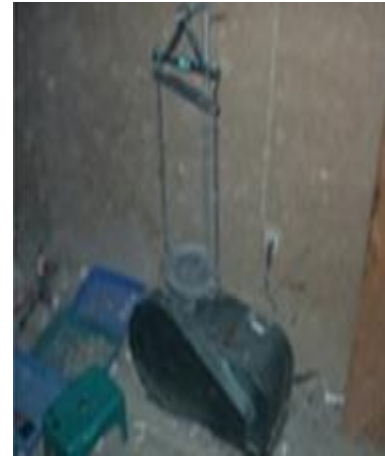
Lampiran 55. Gambar Alat Analisis Saringan



Saringan



Kuas



Alat Penguncang saringan



Cetok dan Wadah



Plastik



Timbangan

Lampiran 56. Gambar Alat Pembuatan Sampel



Landasan Alat Penumbuk



Alat Penumbuk



Wajan dan Pengaduk



Landasan Cetakan



Cetakan Aspal

*Ejector (Hydraulic Pump)*

Lampiran 57. Gambar Alat Pengujian *Marshall* dan *Immersion*

Water Bath dan Sarung Tangan



Alat Pengujian *Marshall* dan *Immersion*



Timbangan + keranjang



Kain Lap

Lampiran 58. Gambar Alat Pengujian *ITS*Alat Pengujian *ITS*

Timbangan Digital



Lampiran 59. Gambar Alat Pengujian Permeabilitas



Alat Pengujian Permeabilitas



Bejana Ukur



StopWatch



Bejana Air

Lampiran 60. Gambar Alat Pengujian *Cantabro*

Timbangan Digital

Alat Pengujian *Cantabro*

Lampiran 61. Gambar Alat Pengujian *Asphalt Flow Down*

Timbangan Digital



Pengaduk



Oven



Nampan Stenless + Alumunium Foil

Lampiran 62. Gambar *Oil Sludge* PT.Pertamina Cilacap



Oil Sludge PT.Pertamina Cilacap



Lampiran 63. Gambar Sampel Penelitian



Gambar Sampel Penelitian

Lampiran 64 Tabel Konstanta A0

Diameter (inci)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4
3,5	0,177	0,077	-0,2847	0,268	-0,9966	0,05056	-0,1545	-0,9765	-0,0204	-0,1545	0,05056
3,6	0,172	0,075	-0,2769	0,2683	-0,9968	0,04786	-0,1461	-0,9560	-0,0193	-0,1481	0,04786
3,7	0,168	0,073	-0,2694	0,2685	-0,9970	0,04537	-0,1384	-0,9422	-0,0183	-0,1384	0,04537
3,8	0,164	0,707	-0,2624	0,2688	-0,9971	0,04307	-0,1312	-0,9260	-0,0173	-0,1312	0,04307
3,9	0,16	0,69	-0,2557	0,269	-0,9973	0,04049	-0,1246	-0,9104	-0,0165	-0,1247	0,04094
4	0,156	0,067	-0,2494	0,2692	-0,9974	0,03896	-0,1185	-0,8954	-0,0156	-0,1185	0,03896
4,1	0,152	0,066	-0,2433	0,2694	-0,9975	0,03712	-0,1129	-0,8810	-0,0149	-0,1129	0,03712
4,2	0,49	0,064	-0,2375	0,2696	-0,9976	0,03541	-0,1076	-0,8671	-0,0142	-0,1076	0,03541
4,3	0,45	0,063	-0,2320	0,2998	-0,9977	0,03381	-0,1027	-0,8537	-0,0136	-0,1027	0,03381
4,4	0,142	0,613	-0,2268	0,2699	-0,9978	0,03232	-0,0981	-0,8409	-0,0130	-0,0981	0,03232
4,5	0,139	0,06	-0,2218	0,2701	-0,9979	0,03092	-0,0938	-0,8282	-0,0124	-0,0938	0,03092
4,6	0,136	0,059	-0,2170	0,2702	-0,9980	0,02961	-0,0898	-0,8161	-0,0118	-0,0898	0,02961
4,7	0,133	0,575	-0,2124	0,2703	-0,9981	0,02838	-0,0860	-0,8043	-0,0114	-0,0860	0,02839
4,8	0,131	0,056	-0,2080	0,2704	-0,9982	0,02723	-0,0825	-0,7930	-0,0109	-0,0825	0,02723
4,9	0,128	0,055	-0,2037	0,2706	-0,9983	0,02618	-0,0792	-0,7820	-0,0105	-0,0792	0,02615
5	0,126	0,054	-0,1997	0,2707	-0,9983	0,02512	-0,0760	-0,7714	-0,0100	-0,0761	0,02513
5,1	0,123	0,053	-0,1958	0,2708	-0,9984	0,02418	-0,0731	-0,7610	-0,0097	-0,0731	0,02416
5,2	0,121	0,052	-0,1920	0,2709	-0,9985	0,02325	-0,0703	-0,7510	-0,0093	-0,0703	0,02325
5,3	0,119	0,051	-0,1884	0,2709	-0,9985	0,02239	-0,0677	-0,7413	-0,0090	-0,0677	0,02240
5,4	0,116	0,05	-0,1849	0,271	-0,9986	0,02158	-0,0652	-0,7319	-0,0086	-0,0652	0,02156
5,5	0,114	0,049	-0,1816	0,2711	-0,9986	0,02081	-0,0629	-0,7227	-0,0083	-0,0629	0,02061
5,6	0,112	0,048	-0,1783	0,2712	-0,9987	0,02008	-0,0607	-0,7138	-0,0080	-0,0607	0,02008
5,7	0,11	0,048	-0,1752	0,2713	-0,9987	0,01539	-0,0586	-0,7051	-0,0078	-0,0586	0,01939
5,8	0,109	0,047	-0,1722	0,2713	-0,9988	0,02874	-0,0566	-0,6967	-0,0075	-0,0566	0,01874
5,9	0,107	0,046	-0,1693	0,2714	-0,9988	0,02811	-0,0547	-0,6884	-0,0072	-0,0547	0,01811
6	0,105	0,045	-0,1665	0,2714	-0,9988	0,01752	-0,0529	-0,6804	-0,0070	-0,0529	0,01752
6,1	0,103	0,045	-0,1638	0,2715	-0,9989	0,01695	-0,0512	-0,6727	-0,0068	-0,0512	0,01696
6,2	0,102	0,044	-0,1611	0,2716	-0,9989	0,01642	-0,0495	-0,6651	-0,0066	-0,0495	0,01642
6,3	0,1	0,043	-0,1586	0,2716	-0,9989	0,01590	-0,0480	-0,6577	-0,0064	-0,0480	0,01591
6,4	0,099	0,042	-0,1561	0,2717	-0,9990	0,01542	-0,0465	-0,6504	-0,0062	-0,0465	0,01542
6,5	0,097	0,042	-0,1537	0,2717	-0,9990	0,01495	-0,0451	-0,6434	-0,0060	-0,0451	0,01495

Lampiran 65 Pemeriksaan Kelarutan *Oil Sludge* dalam CCL4 / TCE

LABORATORIUM JALAN RAYA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab_jalanraya@yahoo.com

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

No	Urutan Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai Pemanasan	WIB	°c
		Selesai Pemanasan		
2	Penimbangan	Mulai	11.00 WIB	24 °c
3	Pelarutan	Mulai	11.05 WIB	24 °c
4	Penyaringan	Mulai	11.30 WIB	24 °c
		Selesai	14.30 WIB	24 °c
5	Di oven	Mulai	14.35 WIB	100 °c
6	Penimbangan	Mulai	14.45 WIB	24 °c

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda uji	
		1	2
1	Berat erlen meyer kosong	68,89 gr	73,56 gr
2	Berat erlen meyer kosong+aspal	70,46 gr	75,09 gr
3	Berat aspal	1,57 gr	1,53 gr
4	Berat kertas saringan bersih	0,54 gr	0,55 gr
5	Berat kertas saringan bersih+mineral	1,31 gr	1,27 gr
6	Berat mineral	0,77 gr	0,72 gr
7	Persentase mineral	49,04 %	47,06 %
8	Aspal yang larut	50,96 %	52,94 %
9	Rata - rata aspal yang larut	51,95 %	

Mengetahui,
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 28 Desember 2016
Peneliti,

Muhammad Bahtiar