

PERBANDINGAN NILAI MARSHALL DASPAL (DAMAR ASPAL) DI LABORATORIUM DENGAN HASIL CORING DI LAPANGAN SERTA ANALISIS SKID RESISTANCE

Satria Lima Santara¹⁾, Ary Setyawan²⁾, Agus Sumarsono³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾³⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126 Telp: 0271647069. Email : satriasantara@yahoo.co.id

Abstract

The needs of conventional asphalt is increasing so that requires another material as substitution that called bioasphalt. One of the innovations that being developed is daspal (asphalt resin). The purpose of this research is to compare test objects of daspal made in the laboratory with test objects cored in the field with rolling variations using Marshall test and skid resistance. The method in this research is experimental in the laboratory and on the field. The rolling variations on the field are 6 times, 10 times and 14 times. Before the coring process is done, skid resistance is tested with rolling straightedge tool on the field. Then, coring on each rolling variation is done to take test objects for Marshall test field. The composition of daspal is powder resin (350 gr), chunk resin (100gr), cooking oil (205), fly ash (150 gr), and latex (4%). The result and analysis of Marshall test from the laboratory test objects have showed that the value of stability 1118,519 kg, flow 4,65 mm, and MQ 241,102 kg/mm. The values of the skid resistance test are 9,83 mm/m for 6 times rolling, 8,83 mm/m for 10 times rolling, and 7,67 mm/m for 14 times rolling. Values of stability, flow, and MQ from the laboratory test objects are greater than the field coring test objects for all rolling variations. While, the greater of the skid resistance value indicates that the surface texture is flatter.

Key words : Daspal, Marshall, Skid Resistance

Abstrak

Kebutuhan akan aspal konvensional yang terus meningkat membutuhkan alternatif penggunaan bahan lain sebagai pengganti yang disebut bioaspal. Salah satu bahan yang sedang dikembangkan saat ini adalah daspal (damar aspal). Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan benda uji daspal yang dibuat di laboratorium dengan benda uji hasil coring dari lapangan dengan variasi pemadatan menggunakan pengujian Marshall serta skid resistance. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium dan lapangan. Adapun variasi pemadatan lapangan yang dilakukan yaitu 6 kali, 10 kali, dan 14 kali. Sebelum dilakukan proses coring, pengujian skid resistance dilakukan dengan alat rolling straightedge di lapangan. Coring pada setiap variasi pemadatan dilakukan guna mengambil benda uji untuk pengujian Marshall lapangan. Komposisi penyusun daspal adalah damar serbuk (350 gr), damar bongkahan (100 gr), minyak goreng (205 gr), fly ash (150 gr), dan lateks (4 %). Analisis hasil pengujian Marshall benda uji laboratorium didapatkan nilai stabilitas 1118,519 kg, flow 4,65 mm dan MQ 241,102 kg/mm. Nilai skid resistance 6 kali pemadatan 9,83 mm/m, 10 kali pemadatan 8,83 mm/m, dan 14 kali pemadatan 7,67 mm/m. Nilai stabilitas, flow, dan MQ benda uji yang dibuat di laboratorium lebih besar daripada stabilitas, flow dan MQ benda uji hasil coring dari lapangan dengan semua variasi pemadatan. Semakin besar nilai skid resistance mengindikasikan tekstur permukaan semakin rata.

Kata kunci : Daspal, Marshall, Skid Resistance

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jumlah variasi pemadatan manakah yang paling tepat untuk digunakan supaya mendapatkan nilai stabilitas, kelelahan (flow), dan Marshall Quotient (MQ) yang sama antara benda uji laboratorium dengan benda uji lapangan, serta analisis skid resistance di lapangan. Manfaat penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan di bidang perkerasan jalan dengan bahan pengikat daspal, daspal sebagai alternative penggunaan bahan perkerasan yang ramah lingkungan (go green) dan dapat diperbarui (renewable) serta meningkatkan nilai ekonomis dari bahan-bahan penyusun pembuatan daspal.

Kekurangan dari penggunaan daspal adalah daspal dibuat dari bahan-bahan organik, sehingga memiliki jangka waktu penggunaan sebelum mulai mengalami perubahan sifat kandungannya karena proses pembusukan, pembuatan daspal yang masih manual membuat pemenuhan kebutuhan dalam jumlah yang

banyak masih sulit terpenuhi. Bahan pengikat daspal yang digunakan terbuat dari damar serbuk (350 gr), damar bongkahan (100 gr), minyak goreng (205 gr), *fly ash* (150 gr), dan lateks (4 %) untuk sekali pemasakan.

LANDASAN TEORI

Bahan pengikat daspal dengan komposisi getah damar, *fly ash*, minyak goreng dan lateks memenuhi persyaratan aspal keras berdasarkan penetrasi RSNI-S-01-2013 untuk nilai penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala dan titik bakar, berat jenis, kelekatan, dan kelarutan jika menggunakan kadar lateks sebanyak 4 %. (Zai, 2016). Analisis tentang sifat aspal beton menggunakan bahan pengikat daspal dengan komposisi getah damar, *fly ash*, minyak goreng dan lateks dengan kadar lateks 4 % didapatkan hasil bahwa nilai kadar daspal optimum adalah sebesar 5,242 %. Setelah dilakukan pengujian *Marshall*, daspal memenuhi persyaratan dalam hal stabilitas, kepadatan (*density*), dan nilai *Marshall Quotient (MQ)*. (Irfansyah, 2016).

Laston

Secara garis besar, laston memiliki ciri sedikit berongga didalam suatu struktur agregatnya sehingga ikatan satu agregat dengan agregat lainnya mengunci oleh karena itu aspal beton memiliki kekuatan dalam sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku (Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2010).

Berdasarkan fungsinya laston mempunyai 3 macam campuran dalam penggunaannya di lapangan yaitu :

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan AC-WC. Tebal minimum lapisan AC-WC adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan pengikat, dikenal dengan AC-BC. Tebal minimum lapisan AC-BC adalah 5 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan AC-base. Tebal minimum lapisan AC-base adalah 6 cm.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan percobaan secara langsung di laboratorium dan di lapangan. Penelitian ini dilaksanakan di dua tempat, yaitu di Laboratorium Jalan Raya JTS FT UNS sebagai lokasi untuk perencanaan dan pengkonversian *job mix design*, pembuatan daspal, dan pengujian benda uji dari lapangan sedangkan di Desa Jeruksawit, Gondangrejo, Karanganyar sebagai lokasi untuk aplikasi penghamparan daspal di lapangan. Penelitian ini membandingkan nilai *Marshall* dari benda uji hasil laboratorium dengan benda uji dari penghamparan daspal di lapangan serta analisis *skid resistance* dengan 3 variasi jumlah pemadatan di lapangan.

Penelitian dibagi menjadi 4 tahapan, yaitu pembuatan benda uji pembandingan di laboratorium, konversi *job mix* lapangan, penghamparan daspal di lapangan, dan pengujian serta analisis data. Konversi *job mix* lapangan dilakukan dengan mengubah volume perencanaan menjadi satuan berat. Pemadatan campuran daspal di lapangan dilakukan dengan mesin *single drum roller*.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji untuk di laboratorium dan lapangan menggunakan bahan pengikat daspal.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

Benda uji hasil laboratorium	Benda Uji Hasil Coring Lapangan	
Jumlah Benda Uji (buah)	Jumlah Pemadatan (kali)	Jumlah Benda Uji (buah)
3	6	3
	10	3
	14	3

Pemadatan di Lapangan

Variasi jumlah pemadatan yang dilakukan adalah 6, 10, dan 14 kali dengan menggunakan mesin *single drum roller* BOMAG 3 – 4 ton (*operating weight* = 3300 - 3850 kg, *performance* = 33.0 deutz kw).

Tabel 2. Rincian Pemadatan di Lapangan

Variasi Pemadatan (kali)	Jumlah Pemadatan di Lapangan		
	awal (kali)	antara (kali)	akhir (kali)
6	3	2	2
10	3	4	3
14	3	8	3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perencanaan Gradasi

Dari hasil pemeriksaan agregat 3/4', 3/8' dan abu batu (*stone dust*), kemudian dilakukan perencanaan gradasi gabungan. Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi nomor VII yang terdapat di dalam SNI 03-1737-1989 (*Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya*) dikarenakan fungsinya sebagai lapis permukaan, teksturnya rapat, dan sering digunakan pada perkerasan di Indonesia.

Tabel 3. Analisis Saringan Gabungan

No. Saringan	Jenis Agregat						Kombinasi		
	Agregat 3/4'		Agregat 3/8'		Abu Batu		Gradasi	Spec	Median
	100,0%	21,0%	100,0%	32,0%	100,0%	47,0%			
3/4"	100,00	21,00	100,00	32,00	100,00	47,00	100,00	100-100	100
1/2"	43,69	9,17	100,00	32,00	100,00	47,00	88,17	80-100	90
# 4	9,08	1,90	35,51	11,36	97,96	46,04	59,31	54-72	63
# 8	4,97	1,04	13,91	4,45	93,74	44,05	49,55	42-58	50
# 30	2,82	0,59	4,94	1,58	68,07	31,99	34,16	26-38	32
# 50	1,69	0,35	4,02	1,28	42,52	19,98	21,62	18-28	23
# 100	1,31	0,27	2,54	0,81	26,51	12,45	13,54	12-20	16
# 200	0,58	0,12	0,95	0,30	15,44	7,25	7,68	6-12	9

Hasil Pengujian Benda Uji Laboratorium

Dengan menggunakan kadar daspal optimum sebesar 5,242% dalam campuran pada benda uji laboratorium didapatkan hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian *Marshall* Benda Uji Laboratorium

Kode	Tebal Rata-rata (mm)	Berat di Udara		Berat di Air (gram)	Koreksi Tebal (mm)	Stabilitas			Flow (mm)	MQ (kg/mm)
		Kering (gram)	SSD (gram)			Dial (mm)	Kalibrasi (kg)	Terkalibrasi (kg)		
L 1	61,575	1197,4	1200,0	702,80	1,050	46	1010,213	1060,881	4,85	218,738
L 2	61,250	1197,2	1199,9	702,67	1,060	50	1099,295	1165,596	4,48	260,177
L 3	60,925	1187,5	1190,6	698,80	1,070	48	1054,754	1129,081	4,62	244,389
		Rata-rata						1118,519	4,65	241,102

Tabel 5. Hasil Perhitungan Karakteristik Benda Uji Laboratorium

Kode	Densitas (gram/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
L 1	2,408	1,947	12,589	84,528
L 2	2,407	1,970	12,609	84,375
L 3	2,414	1,690	12,360	86,320
Rata - rata	2,410	1,869	12,520	85,075

Job Mix Lapangan

Konversi job mix laboratorium menjadi *job mix* lapangan dilakukan dalam tiga tahapan. Tahapan pertama adalah menghitung volume penghamparan lapangan. Tahapan kedua adalah menghitung kebutuhan total material dalam satuan berat dengan densitas benda uji laboratorium. Tahap ketiga menghitung masing-masing kebutuhan material.

Tabel 6. Perhitungan *Job Mix* Lapangan

Volume Penghamparan	300 x 100 x 6	180.000 cm ³
Kebutuhan Total Material	180.000 / 2,410	434 kg
Daspal	434 kg x 5,242 %	22,751 kg
Agregat 3/4'	(434 - 22,751) kg x 21 %	86,362 kg
Agregat 3/8'	(434 - 22,751) kg x 32 %	131,599 kg
Abu Batu	(434 - 22,751) kg x 47 %	193,286 kg

Hasil Pengujian Benda Uji Lapangan

Benda uji lapangan diperoleh dari hasil *coring* campuran daspal yang telah dihamparkan dan dipadatkan dengan 3 variasi jumlah pemadatan.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Marshall* Benda Uji Lapangan

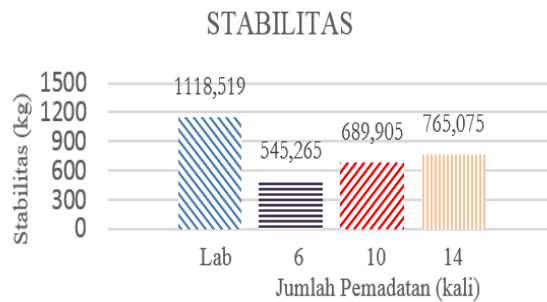
Kode	Tebal Rata-rata (mm)	Berat di Udara		Berat di Air (gram)	Koreksi Tebal	Stabilitas			Flow (mm)	MQ (kg/mm)
		Kering (gram)	SSD (gram)			Dial (mm)	Kalibrasi (kg)	Terkalibrasi (kg)		
6 A	47,937	547,80	582,50	320,10	1,646	15	332,865	548,161	3,72	147,355
6 B	51,650	724,40	735,80	415,70	1,427	17	377,247	538,520	3,65	147,539
6 C	46,300	539,60	566,10	319,20	1,767	14	310,674	549,116	3,67	149,622
Rata-rata								545,265	3,68	148,172
10 A	45,787	530,20	554,20	312,20	1,807	19	421,629	761,995	3,61	211,079
10 B	52,725	725,70	752,90	424,70	1,375	21	465,458	640,369	3,55	180,385
10 C	51,525	714,20	746,10	417,30	1,433	21	465,458	667,351	3,52	189,588
Rata-rata								689,905	3,56	193,684
14 A	49,275	679,60	692,70	399,70	1,555	23	508,735	791,481	3,52	224,852
14 B	52,100	725,00	750,10	422,30	1,405	24	530,374	745,175	3,46	215,368
14 C	45,887	530,50	560,70	312,50	1,799	19	421,629	758,569	3,44	220,514
Rata-rata								765,075	3,47	220,245

Tabel 8. Hasil Perhitungan Karakteristik Benda Uji Lapangan

Kode	Densitas (gram/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
6 A	2,087	15,002	24,227	38,077
6 B	2,263	7,861	17,861	55,987
6 C	2,185	11,018	20,676	46,709
Rata - rata	2,178	11,294	20,921	46,924
10 A	2,190	10,798	20,479	47,273
10 B	2,211	9,974	19,745	49,485
10 C	2,172	11,562	21,161	45,359
Rata - rata	2,191	10,778	20,461	47,372
14 A	2,319	5,564	15,814	64,812
14 B	2,211	9,951	19,724	49,549
14 C	2,137	12,977	22,422	42,123
Rata - rata	2,222	9,497	19,320	52,161

Perbandingan Hasil Pengujian Benda Uji Laboratorium dengan Benda Uji Lapangan

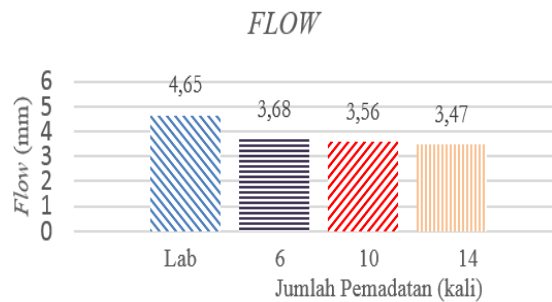
a. Perbandingan Stabilitas Laboratorium dengan Lapangan



Gambar 1. Grafik Perbandingan Stabilitas Laboratorium dengan Lapangan

Menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah pemadatan sampai jumlah tertentu yang dilakukan di lapangan akan menghasilkan nilai stabilitas yang mendekati nilai stabilitas benda uji laboratorium.

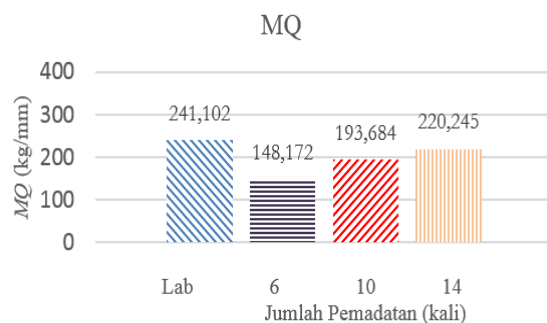
b. Perbandingan *Flow* Laboratorium dengan Lapangan



Gambar 2. Grafik Perbandingan *Flow* Laboratorium dengan Lapangan

Menunjukkan bahwa kadar daspal dalam campuran benda uji laboratorium lebih terkontrol dan menghasilkan nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji lapangan yang memiliki skala yang lebih besar dan jumlah kebutuhan bahan pengikat daspal yang lebih banyak sehingga kontrol kadar daspal campuran berkurang dan menyebabkan nilai *flow* lapangan turun. Kondisi bahan pengikat daspal yang disimpan terlalu lama juga ikut mempengaruhi nilai *flow*.

c. Perbandingan *MQ* Laboratorium dengan Lapangan



Gambar 3. Grafik Perbandingan *MQ* Laboratorium dengan Lapangan

Menunjukkan bahwa nilai *MQ* ditentukan oleh nilai stabilitas dan *flow* dari benda uji, baik itu benda uji dari laboratorium maupun dari lapangan.

d. Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pengujian Benda Uji Laboratorium dengan Benda Uji Lapangan

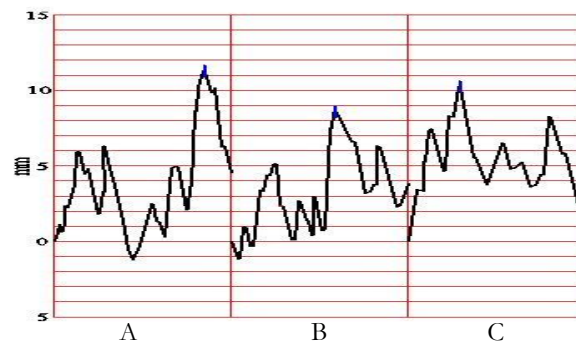
Tabel 9. Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pengujian Benda Uji Laboratorium dengan Lapangan

Kadar Daspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Kepadatan Relatif (%)	
Laboratorium	1118,519	4,65	241,102	-	
Lapangan :					
5,242	6 kali	545,265	3,68	148,172	90,39
	10 kali	689,905	3,56	193,684	90,92
	14 kali	765,075	3,47	220,245	92,22

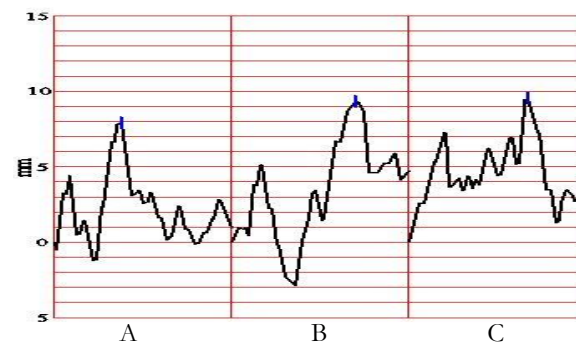
Dapat dilihat bahwa benda uji laboratorium memiliki nilai stabilitas, *flow*, dan MQ paling besar. Semakin banyak variasi jumlah pemadatan, nilai stabilitas dan MQ akan naik, sedangkan nilai *flow* akan turun.

Hasil Pengujian *Skid Resistance*

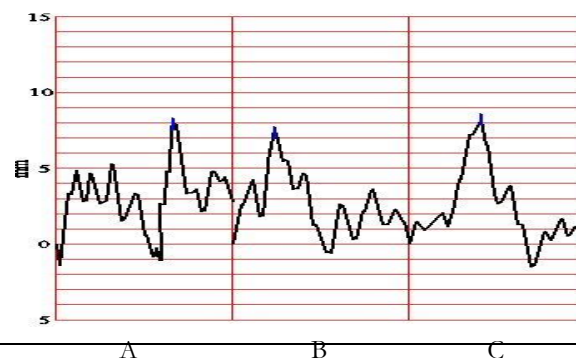
Pengujian *skid resistance* dilakukan di lapangan sebelum pengambilan benda uji lapangan (*coring*), dalam pengujian ini didapatkan nilai Profil *Ride Index* (PRI) untuk mengetahui tingkat kerataan suatu jalan. Alat yang digunakan dalam pengujian ini bernama *rolling straightedge*.



Gambar 4. Grafik 6 Kali Pemadatan



Gambar 5. Grafik 10 Kali Pemadatan



Gambar 6. Grafik 14 Kali Pemadatan

Tabel 10. Hasil Pengujian *Rolling Straightedge*

Kode	<i>PrI Zero Null Band</i>	<i>PrI Zero Null Band</i>	<i>PrI Zero Null Band</i>
	6 Kali Pemasatan	10 Kali Pemasatan	14 Kali Pemasatan
	(mm/meter)	(mm/meter)	(mm/meter)
A	11,0	8,0	8,0
B	8,5	9,0	7,0
C	10,0	9,5	8,0
Rata-Rata	9,83	8,83	7,67

Menunjukkan bahwa nilai *PrI* mengalami penurunan dari 6, 10 sampai 14 kali pepadatan. *PrI* untuk segmen 14 kali pepadatan menunjukkan nilai yang kecil, hal ini berarti tekstur permukaan yang dimiliki segmen 14 kali pepadatan lebih halus dan rata dibandingkan dengan segmen lainnya. Sedangkan *PrI* untuk segmen 6 kali pepadatan menunjukkan nilai *PrI* yang lebih besar daripada segmen yang lainnya, hal ini berarti tekstur permukaan yang dimiliki segmen 6 kali pepadatan lebih kasar dan bergelombang daripada segmen lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan analisis data didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai stabilitas, *flow* dan *MQ* benda uji daspal yang dibuat di laboratorium memiliki nilai yang lebih besar daripada benda uji hasil *coring* lapangan dengan semua variasi jumlah pepadatan dengan nilai :
 - a. Stabilitas benda uji hasil laboratorium sebesar 1118,519 kg serta benda uji lapangan 6 kali pepadatan 545,265 kg, 10 kali pepadatan 689,905 kg dan 14 kali pepadatan 765,075 kg.
 - b. *Flow* benda uji hasil laboratorium sebesar 4,65 mm serta benda uji lapangan 6 kali pepadatan 3,68 mm, 10 kali pepadatan 3,56 mm dan 14 kali pepadatan 3,47 mm.
 - c. *MQ* benda uji hasil laboratorium sebesar 241,102 kg/mm serta benda uji lapangan 6 kali pepadatan 148,172 kg/mm, 10 kali pepadatan 193,684 kg/mm dan 14 kali pepadatan 220,245 kg/mm.
2. Nilai *skid resistance* daspal yang telah dihamparkan di lapangan dengan 6 kali pepadatan sebesar 9,83 mm/meter, 10 kali pepadatan sebesar 8,83 mm/meter dan 14 kali pepadatan sebesar 7,67 mm/meter.

Saran

1. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian yang lebih mendalam dan persiapan yang matang agar hasil benda uji laboratorium dengan lapangan memenuhi persyaratan dan spesifikasi.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan variasi jumlah pepadatan yang lebih banyak.
3. Penelitian selanjutnya apabila menggunakan alat *rolling straightedge*, disarankan untuk menghamparkan campuran daspal minimal sepanjang 10 meter supaya grafik yang didapat lebih mudah untuk dianalisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan, orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan tiada henti, Ir. Ary Setyawan, M.Sc., Ph.D. dan Ir. Agus Sumarsono, M.T. yang telah banyak membimbing dan memberikan arahan dalam penulisan penelitian ini, serta teman-teman sipil seperjuangan.

REFERENSI

- Abraham, Fieza Emha. 2016. *Evaluasi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Damar Aspal (DASPAL) Sebagai Bahan Pengikat*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Anonim. 2005. *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Departemen Pekerjaan Umum. 1990. *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SNI 03-1737-1989 Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2003. *RSNI S-01-2003 Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*. Bandung. Puslitbang Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Revisi 3*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Irfansyah, Permana Adi. 2016. *Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Daspal Modifikasi Sebagai Bahan Pengikat*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Jennings, Aaron dan R. Hill, Daniel. 2011. *Bioasphalt from Urban Yard Carbonization*. Ohio : Department of Transportation Office of Research and Development
- Mulyono, N., & Apriyantono, A., 2010. *Brief Review on: Physical, Chemical and Functional Properties of Damar*. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 15(3), 245.
- Nasution, Muhammad Fachri. 2015. *Studi Karakteristik Damar Aspal Berdasarkan Penetration Grade Dibandingkan Dengan Aspal Pertamina Dan Asbuton*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Prasetyo, Yudhi Mahadi. 2016. *Studi Banding Karakteristik Beton Berpori Antara Benda Uji di Laboratorium Dengan Benda Uji di Lapangan (Studi Kasus Pada Bahu Jalan di Desa Kadokan, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo)*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Yogyakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Yhudianto, Bondan. 2017. *Pengaruh Pengisian Rongga Pada Perkerasan Aspal Porus Terhadap Kecepatan Resapan, Permeabilitas dan Skid Resistance*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Zai, Soniel Aroman. 2016. *Studi Karakteristik Damar Aspal (Daspal) Modifikasi Dengan Kombinasi Material Getah Damar, Fly Ash, Minyak Goreng, dan Lateks Dibandingkan Dengan Aspal Penetrasi 40/50 dan Aspal Penetrasi 60/70*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.