

KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BETON MENGUNAKAN DASPAL SEBAGAI BAHAN PENGIKAT

Permana Adi Irfansyah¹⁾, Ary Setyawan²⁾, dan Djumari³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

^{2),3)}Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Jln. Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

E-mail : permana.8888@gmail.com

Abstract

Needs of petroleum asphalt as materials for pavement is very large, while the petroleum classified as natural resources that can not be refurbished. As a result of petroleum dwindling and prices tend to be more expensive. So that requiring other alternative materials as a substitute for conventional asphalt is asphalt derived from biomass or often called bioasphalt. This study aims to know marshall characteristics on Asphalt Cement (AC) using the Daspal Modification as binder, the marshall characteristic are Void In Mix, Void In Mineral Aggregate, Void Filled Bitumen, Density, Flow, Stability, Marshall Quotient, the value of daspal optimum levels and to be compared with persyaratan tes marshall Bina Marga 1987 and Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3).

The research uses experimental methode in laboratory with test-object made of asphalt cement using the daspal modification as binder and using mixing aggregate gradation no. VII SNI 03-1737-1989. The research are using 15 test-object divided into 5 percentage of daspal, they are 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Tests carried out using marshall test equipment to get the value of flow and stability and then be searched the value of daspal optimum levels.

The result of asphalt cement analysis using daspal modification as binder are available the value of daspal optimum levels in 5,242%. So all the characteristics already meet the requirements and specifications except for the value of VIM, VMA, and flow.

Key Words : *Daspal, Asphalt Cement, Marshall*

Abstrak

Kebutuhan aspal dari minyak bumi sebagai bahan pembuatan perkerasan jalan sangat besar, sedangkan minyak bumi tergolong sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui. Akibatnya minyak bumi semakin menipis dan harganya cenderung semakin mahal. Sehingga membutuhkan bahan alternatif lain sebagai pengganti aspal konvensional yaitu aspal yang berasal dari biomassa atau sering disebut bioaspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran laston (AC) dengan bahan pengikat damar aspal (daspal) modifikasi yang terbuat dari material getah damar, minyak goreng, *fly-ash*, dan lateks, berupa nilai rongga dalam agregat, rongga dalam campuran, rongga terisi daspal, stabilitas, kelelahan, *marshall quotient*, kadar daspal optimum dan membandingkannya dengan persyaratan tes *marshall* yang diterbitkan oleh bina marga tahun 1987 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan benda uji yang terbuat dari campuran laston (AC) dengan bahan pengikat damar aspal (daspal) modifikasi yang terbuat dari material getah damar, minyak goreng, *fly-ash*, dan lateks, dan campuran gradasi agregat no VII SNI 03-1737-1989. Pengujian ini menggunakan 15 benda uji yang terbagi dalam 5 kadar daspal yakni kadar daspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%,. Setiap kadar daspal menggunakan 3 buah benda uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji *marshall* untuk mendapatkan nilai kelelahan dan stabilitas yang selanjutnya dapat dicari nilai kadar daspal optimum.

Hasil analisis terhadap campuran laston (AC) dengan bahan pengikat damar aspal (daspal) modifikasi yang terbuat dari material getah damar, minyak goreng, *fly-ash*, dan lateks didapatkan kadar daspal optimum pada kadar daspal 5,242% sehingga diperoleh nilai VIM sebesar 2,474%, VMA sebesar 12,828%, VFB sebesar 80,758%, kepadatan sebesar 2,401%, stabilitas sebesar 1181,564 kg, *flow* sebesar 4,603mm, dan MQ sebesar 268,847 kg/mm.

Kata kunci : Daspal, Laston, Marshall

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan aspal sebagai salah satu bagian dari konstruksi perkerasan jalan, baik untuk pemeliharaan, peningkatan, maupun pengembangan aksesibilitas transportasi jalan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan pembangunan. Kebutuhan aspal sebagai bahan pembuatan perkerasan jalan sangat besar. Kekhawatiran muncul seiring meningkatnya harga minyak bumi saat ini. Sehingga membutuhkan bahan alternatif lain sebagai pengganti aspal konvensional yaitu aspal yang berasal dari biomassa atau sering disebut bioaspal.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang daspal modifikasi sebagai pengganti Aspal minyak yang ditinjau dari sifat *properties* dengan bahan campuran getah damar, minyak goreng, lateks, dan *fly-ash* (Aroman Karsensyah Soniez Zai, 2016). Melalui hasil pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Universitas Sebelas Maret, data yang dihasilkan telah memenuhi untuk dilakukan penelitian selanjutnya.

LANDASAN TEORI

Aspal Beton

Aspal Beton adalah campuran agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*Filler*) dengan bahan pengikat dalam kondisi suhu 145 – 155 °C dengan komposisi yang diteliti dan diatur oleh spesifikasi teknis.

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan bahan pengikat dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampurkan dalam kondisi panas. Berdasarkan fungsi dan kebutuhan desain konstruksi jalan, aspal beton mempunyai beberapa jenis antara Lain:

- 1) *Binder Course* (BC) dengan tebal minimum 4 cm biasanya digunakan sebagai lapis kedua sebelum *wearing course*.
- 2) *Asphalt Traeted Base* (ATB) dengan tebal minimum 5 cm digunakan sebagai lapis pondasi atas konstruksi jalan dengan lalu lintas berat / Tinggi.
- 3) *Hot Roller Sheet* (HRS) / Laston / laston 3 dengan tebal penggelaran minimum 3 s/d 4 cm digunakan sebagai lapis permukaan konstruksi jalan dengan lalu lintas sedang.
- 4) *Fine Grade* (FG) dengan tebal minimum 2.8 cm maks 3 cm bisanya digunakan untuk jalan perumahan dengan beban rendah.
- 5) *Sand Sheet* dengan tebal Maximum 2.8 cm biasanya digunakan untuk jalan perumahan dan perparkiran.
- 6) *Wearing Course* (AC) / Laston dengan tebal penggelaran minimum 4 cm digunakan sebagai lapis permukaan jalan dengan lalu lintas berat.

Laston juga dikenal dengan nama AC (*Aspal Concrete*). Di dalam penelitian ini, penulis memfokuskan daspal sebagai bahan pengikat pada laston. Laston sendiri umum digunakan di Indonesia dengan gradasi menerus yang digunakan untuk beban lalu lintas berat.

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah :

- 1) Stabilitas lapisan pekerjaan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.
- 2) Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.
- 3) Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.
- 4) Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien geser antar permukaan jalan dan ban kendaraan.
- 5) Lapisan permukaan perkerasan harus bersifat kedap air agar melindungi lapisan pondasi dari rembesan air.
- 6) Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.
- 7) Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak.

Bahan Pengikat

Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau coklat tua. Pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat, jika dipanaskan sampai temperatur tentu dapat menjadi lunak / cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan campuran aspal beton atau sapat masuk kedalam pori-pori yang da pada penyemprotan/ penyiraman pada perkerasan macadam atau pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya atau bersifat termoplastis (Leo Sentosa).

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Aspal Alam, dibedakan menjadi dua yaitu aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*Lake Asphalt*).
2. Aspal Buatan, yaitu aspal minyak merupakan hasil penyulingan minyak bumi dan TAR merupakan hasil penyulingan batu bara.

Khusus untuk aspal minyak, berdasarkan bentuknya akan terbagi menjadi tiga, diantaranya

1. Aspal keras/panas (*Asphalt Cement*), aspal yang digunakan dalam keadaan panas dan cair, pada suhu ruang berbentuk padat.
2. Aspal dingin / cair (*Cut Back Asphalt*), aspal yang digunakan dalam keadaan dingin dan cair, pada suhu ruang berbentuk cair.
3. Aspal emulsi (*Emulsion Asphalt*), aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi dan digunakan dalam kondisi dingin dan cair.
Aspal keras pada suhu ruang ($25^{\circ} - 30^{\circ} \text{C}$) berbentuk padat. Aspal keras dibedakan berdasarkan nilai penetrasi (tingkat kekerasannya).

Tabel 1 Spesifikasi Aspal Penetrasi

Jenis Pengujian	Metode Persyaratan		
	Pen 40	Pen 60	Pen 80
Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	40 – 59	60 – 79	80 – 99
Titik Lembek	51 – 63	50 – 58	46 – 54
Titik Nyala	Min. 200	Min. 200	Min. 225
Daktilitas, 25 °C	Min. 100	Min. 100	Min. 100
Kelarutan dalam Tricholor Ethylen	Min. 99	Min. 99	Min. 99
Penurunan Berat (dengan TFOT)	Maks. 0,8	Maks. 0,8	Maks. 1,0
Berat Jenis	Min. 1,0	Min. 1,0	Min. 1,0

Sumber : RSNI – S-01-2003

Damar Aspal (Daspal)

Damar aspal merupakan bahan pengikat campuran perkerasan yang terbuat dari bahan yang bersifat *sustainable* sebagai jalan alternatif pengganti aspal konvensional.

Di dalam penelitian ini penulis memfokuskan bahan pengikat yang terbuat dari getah damar yang dikombinasikan dengan lateks sebagai *polymer*, minyak goreng sebagai pelarut getah damar, dan *fly-ash* batu bara sebagai penyaring kotoran waktu pembuatan daspal.

1. Getah Damar

Damar merupakan salah satu resin alami yang dihasilkan oleh tanaman dari famili *Dipterocarpaceae* (marga *Shorea*, *Hopea*, *Balanocarpus* dan *Vateria*) dan *Burseraceae* (marga *Canarium*) (BBSRC, 2004; Doelen *et al.*, 1998a., Doelen *et al.*, 1998b; Jost *et al.*, 1989; Namiroh, 1998; Tan, 1990 dalam jurnal: “Sifat Fisik, Kimia dan Fungsional Damar” oleh Mulyono dan Apriyantono, 2005).

Damar juga mengandung berbagai senyawa unsur kimiawi yang memiliki peran penting dalam fungsinya. Jenis senyawa yang ditemukan dalam damar adalah seperti kandungan asam resinat, alkohol kompleks, balsam dan resen. Semua kandungan kimiawi ini akan keluar selama proses pengolahan. Damar memiliki bentuk yang keras, bening seperti plastik, mudah meleleh dan lengket. Selain itu damar juga mudah mengalami penguapan, tidak mengandung asam lemak, dan banyak mengandung zat karbon atau zat buangan. Damar dalam industri sering dikelompokkan sesuai jenisnya seperti lateks, resin, oleoresin, gumresin dan balsem.

2. Lateks

Lateks adalah getah kental, seringkali mirip susu, yang dihasilkan banyak tumbuhan dan membeku ketika terkena udara bebas.

Lateks kebun akan menggumpal atau membeku secara alami dalam waktu beberapa jam setelah dikumpulkan. Penggumpalan alami atau spontan dapat disebabkan oleh timbulnya asam-asam akibat terurainya bahan bukan karet yang terdapat dalam lateks akibat aktivitas mikroorganisme. Hal itu pula yang menyebabkan mengapa *lump* hasil penggumpalan alami berbau busuk. Gumpalan *lump* mempunyai syarat tidak dikotori dengan tatal sadap, kayu, daun, pasir, dan benda asing.

Penambahan lateks diharapkan mampu meningkatkan stabilitas.

3. Minyak goreng

Jabung adalah campuran getah damar dan minyak goreng. *Jabung* seringkali dipakai oleh perajin perak untuk bantalan mengukir perak. *Jabung* dapat dibuat menggunakan minyak goreng baru ataupun bekas tanpa perbedaan yang berarti. Perbedaan yang mencolok hanya pada bau *jabung* yang dihasilkan. Dari penelitian

sebelumnya yang dilakukan oleh Soniel zai, 2016 didapatkan kesimpulan bahwa penambahan minyak goreng dapat mempengaruhi tingkat kecairan dan elastisitas pada daspal.

4. Fly ash

Abu terbang (*Fly ash*) merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Ukuran butiran abu terbang sangat halus, berkisar sampai 88% (Sri Prabandiyani, 2008).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, pengujian secara umum dilakukan terdiri dari lima tahap, yaitu tahap I yang merupakan analisis sifat agregat yang bertujuan untuk mengetahui sifat fisik berupa berat jenis dan penyerapan air terhadap agregat yang digunakan dalam campuran laston. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian agregat halus dan kasar menggunakan agregat dari PT Pancadarma dengan *quarry* Boyolali. Tahap II yaitu pembuatan bahan pengikat daspal. Di dalam pembuatan daspal, proses pembuatan dilakukan dengan cara pemanasan sederhana, sedangkan komposisi yang dipakai adalah mengacu pada hasil komposisi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Soniel zai, 2016. Tahap III yaitu *job mix design* menggunakan gradasi agregat no. VII berdasarkan SNI 03-1737-1989 (*Tata Cara Pelaksanaan Lapisan Beton LASTON untuk Jalan Raya*) didesain sesuai dengan kadar daspal yang ditetapkan sesuai dengan perhitungan pb rencana, kemudian agregat hasil *job mix design* bersama dengan daspal dipanaskan dan dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat manual, setelah itu dilakukan uji volumetrik dari masing – masing sampel benda uji. Tahap IV yaitu melakukan pengujian *Marshall Test*, tujuan dari pengujian ini untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) dari lapisan aspal beton dengan bahan pengikat daspal berdasarkan RSNI M-01-2003 (*Metode Pengujian Campuran Beraspal panas dengan Alat Marshall*). Tahap V yaitu melakukan pengolahan data dari hasil pengujian yang dilakukan berdasarkan pada hasil pengujian volumetrik yaitu kepadatan (*density*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi daspal (VFB) dan hasil pengujian *Marshall Test* yaitu stabilitas dan *flow*. Dari data yang telah diperoleh setelah dilaksanakan kegiatan pengujian, selanjutnya data tersebut diproses berdasarkan rumus – rumus yang mengacu pada standar pengujian. Data didapat dari pengujian langsung dan pengujian tidak langsung, yang selanjutnya dapat diperoleh data sebagai data primer dan data skunder.

- a. Data primer Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan. Adapun data yang termasuk data primer dalam penelitian ini adalah data hasil pemeriksaan agregat dan pengujian *marshall*.
- b. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari SNI dan dari penelitian sebelumnya.

Analisa data

Pada penelitian ini, setelah diperoleh data dari hasil pengujian volumetrik dan *marshall* dilakukan analisis data menggunakan analisis regresi yang mana persamaan regresi ini dapat menggambarkan perilaku dari hasil pengujian. Setelah analisis regresi dapat dilakukan perhitungan kadar daspal optimum yang dihitung dari persamaan regresi nilai stabilitas dengan nilai “x max”. Kadar daspal optimum yang nantinya akan dijadikan acuan untuk perhitungan karakteristik marshall saat kadar daspal optimum dan dibandingkan dengan persyaratan dan spesifikasi.

PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan terhadap agregat kasar dan halus dilaksanakan dengan berpedoman pada SNI 1969:2008 (*Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*) dan SNI 1970:2008 (*Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*) . Adapun hasil pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2 Pemeriksaan agregat kasar

Jenis Pengujian	Satuan	Pengujian ke		Rata - rata
		1	2	
Berat sampel kering oven	gr	1488,7	1479,6	1484,15
SSD	gr	1507,7	1515,5	1511,6

Berat sampel dalam air	gr	951,3	944,7	948
Berat jenis bulk	gr/cm ³	2,676	2,592	2,634
Berat jenis SSD	gr/cm ³	2,710	2,655	2,682
Berat jenis semu	gr/cm ³	2,770	2,766	2,768
Penyerapan air	%	1,276	2,426	1,851

Tabel 3 Pemeriksaan agregat halus

Jenis Pengujian	Satuan	Pengujian ke		Rata - rata
		1	2	
Berat sampel SSD (gr)	gr	500	500	500
Berat sampel kering oven (gr)	gr	487,7	488,4	487,95
Berat Piknometer + air	gr	738	729,4	733,7
Berat piknometer + air + contoh	gr	1048,5	1042,8	1045,65
Berat jenis bulk	gr/cm ³	2,574	2,616	2,595
Berat jenis SSD	gr/cm ³	2,639	2,680	2,659
Berat jenis semu	gr/cm ³	2,752	2,793	2,773
Penyerapan air	%	2,522	2,417	2,470

Hasil Pemeriksaan Sifat *Properties* Daspal Modifikasi

Pemeriksaan sifat *properties* daspal modifikasi bertujuan untuk mengetahui apakah daspal tersebut memenuhi kriteria atau kemiripan dengan aspal berdasarkan *RSNI S-01-2003 (Persyaratan Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi)*. Adapun sifat yang diperiksa yaitu penetrasi daspal, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kelarutan dalam *Trichlor Ethylen*, penurunan berat, dan berat jenis. Dalam penelitian ini data hasil pemeriksaan sifat *properties* daspal modifikasi merupakan data skunder yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Soniel Zai, 2016.

Tabel 4 Pemeriksaan sifat *properties* daspal

Jenis Pengujian	Metode Persyaratan			Daspal modifikasi dengan kadar lateks					
	Pen 40	Pen 60	Pen 80	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 detik	40 - 59	60 - 79	80 - 99	68.2	62	43	36.4	31	28.5
Titik Lembek	51 - 63	50 - 58	46 - 54	55.5	55.5	57.5	65.5	68.5	69.5
Titik Nyala	Min.	Min.	Min.	240	258	260	250	250	245
	200	200	225						
Daktilitas, 25 °C	Min.	Min.	Min.	63.5	76.5	119.5	78.5	11	6.5
	100	100	100						
Kelarutan dalam Trichlor Ethylen	Min. 99	Min. 99	Min. 99	-	-	99.95	-	-	-
Penurunan Berat (dengan TFOT)	Maks. 0,8	Maks. 0,8	Maks. 1,0	-	-	0.385	-	-	-
Berat Jenis	Min. 1,0	Min. 1,0	Min 1,0	1.011	1	0.97	0.981	0.971	0.956

Dari pemeriksaan sifat *properties* daspal modifikasi pada **Tabel 4** didapatkan daspal modifikasi dengan kadar lateks 4% yang dapat memenuhi kriteria atau kemiripan dengan aspal berdasarkan *RSNI S-01-2003 (Persyaratan Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi)*

Hasil Pengujian Volumetrik dan Marshall

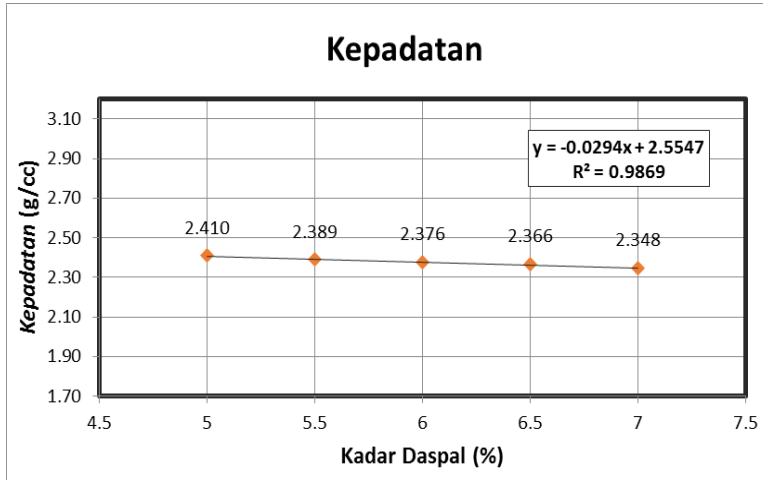
Dari hasil pengujian dibuatlah rekapitulasi perhitungan volumetrik dan *marshall* dengan cara mengambil nilai rata – rata tiap hasil perhitungan.

Tabel 5 Rekapitulasi perhitungan volumetrik dan *marshall*

Kadar Daspal (%)	Kepadatan (gram / cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
------------------	-------------------------------------	---------	---------	---------	-----------------	-----------	---------------------------

5	2.410	2.460	12.246	79.920	1118.520	5.033	224.250
5.5	2.389	2.510	13.458	81.347	1309.307	4.013	364.650
6	2.376	2.272	14.396	84.222	990.834	5.683	177.201
6.5	2.366	1.910	15.216	87.461	908.789	7.140	128.955
7	2.348	1.867	16.298	88.544	691.691	7.980	89.178

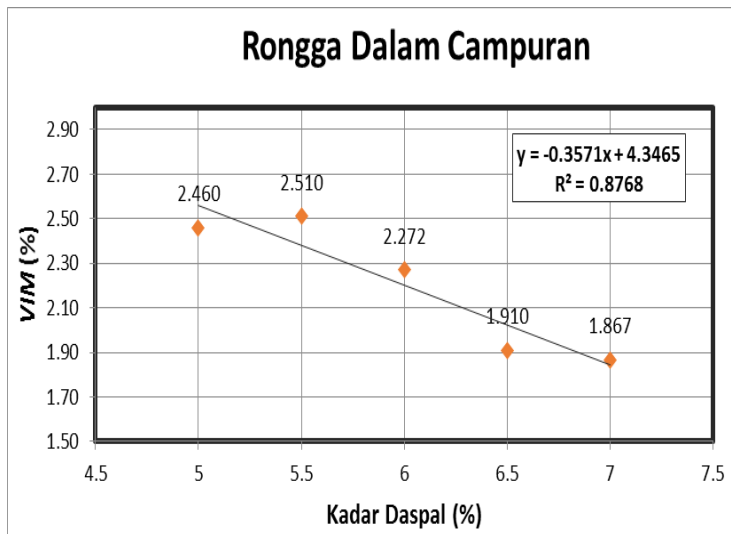
Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Kepadatan (*density*)



Gambar 1 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Kepadatan (*density*)

Berdasarkan analisis regresi linier pada nilai kepadatan, didapatkan persamaan linier dengan koefisien X negatif. Hal ini membuktikan bahwa semakin meningkatnya prosentase kadar daspal dalam komposisi campuran akan menurunkan nilai kepadatan. Berdasarkan analisis regresi pada nilai kepadatan diperoleh Koefisien Determinasi (R^2) = 0,9869 ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (Nilai kepadatan) dengan pengaruh sebesar 98,69%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan nilai kepadatan (*density*) pada benda uji semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya berat agregat dalam campuran seiring dengan bertambahnya kadar daspal. Adapun syarat nilai kepadatan yang ditetapkan oleh Bina Marga (1987) adalah 2 – 3 gr/cc. Maka, nilai kepadatan dari semua benda uji telah memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Rongga Dalam Campuran

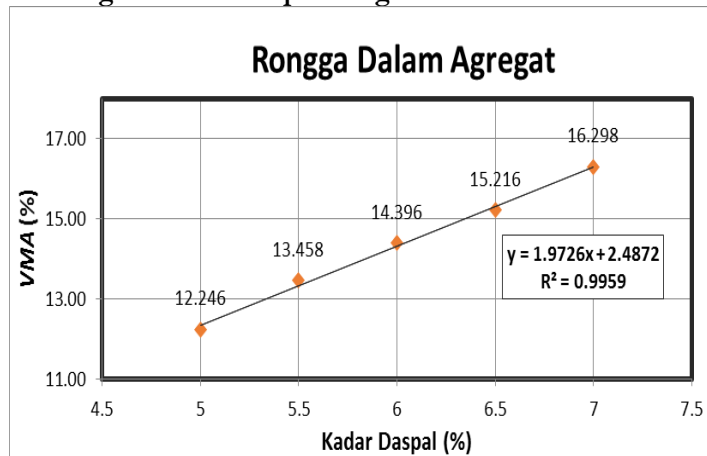


Gambar 2 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Rongga Dalam Campuran

Berdasarkan analisis regresi linier pada rongga dalam campuran, didapatkan persamaan linier dengan koefisien X negatif. Hal ini membuktikan bahwa semakin meningkatnya prosentase kadar daspal dalam komposisi campuran akan menurunkan nilai rongga dalam campuran (VIM). Berdasarkan analisis regresi diperoleh Koefisien

Determinasi (R^2) = 0,8768 ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (VIM) dengan pengaruh sebesar 87,68%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan rongga dalam campuran (VIM) mengecil, hal ini disebabkan daspal mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga yang ada sehingga campuran menjadi lebih rapat atau rongga menjadi makin kecil dan makin sedikit. Adapun syarat nilai VIM yang ditetapkan oleh *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* adalah 3 – 5 %. Maka, nilai VIM dari semua benda uji belum memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

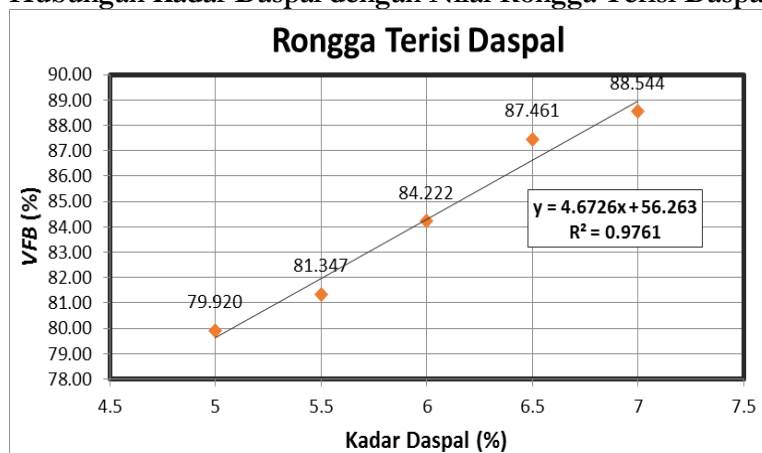
Hubungan Kadar Daspal dengan VMA



Gambar 3 Grafik Hubungan Kadar Daspal dengan VMA

Berdasarkan analisis regresi linier pada nilai rongga dalam agregat didapatkan persamaan linier dengan koefisien X positif. Hal ini membuktikan bahwa semakin meningkatnya prosentase kadar daspal dalam komposisi campuran akan meningkatkan nilai rongga dalam agregat (VMA). Berdasarkan analisis regresi Koefisien Determinasi (R^2) = 0,9959 ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (VMA) dengan pengaruh sebesar 99,59%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan rongga dalam agregat (VMA) semakin membesar. Adapun syarat nilai VMA yang ditetapkan oleh *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* adalah min. 15 %. Maka, nilai VMA untuk benda uji dengan kadar daspal 6,5%, dan 7% telah memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan, namun untuk kadar daspal 5%, 5,5%, dan 6% belum memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Rongga Terisi Daspal

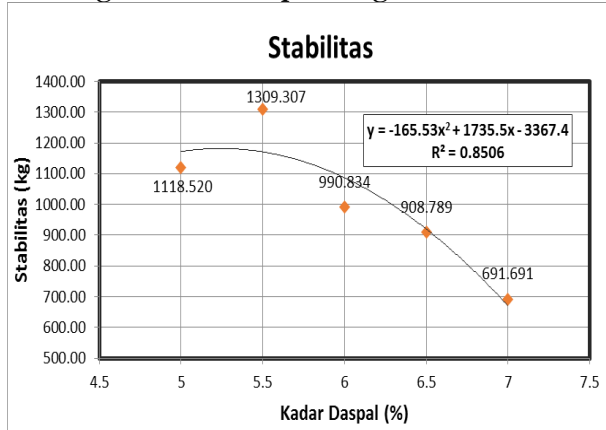


Gambar 4 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Rongga Terisi Daspal

Berdasarkan analisis regresi linier didapatkan persamaan linier dengan koefisien X positif. Hal ini membuktikan bahwa semakin meningkatnya prosentase kadar daspal dalam komposisi campuran akan meningkatkan nilai rongga terisi daspal (VFB). Berdasarkan analisis regresi diperoleh Koefisien Determinasi (R^2) = 0,9761 ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (VFB) dengan pengaruh sebesar 97,61%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan rongga terisi daspal (VFB) semakin membesar. Hal ini menunjukkan tidak adanya halangan bagi daspal dalam mengisi rongga - rongga yang ada.

Adapun syarat nilai VFB yang ditetapkan oleh *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* adalah min. 65 %. Maka, nilai VFB untuk semua benda uji memenuhi syarat, untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Stabilitas

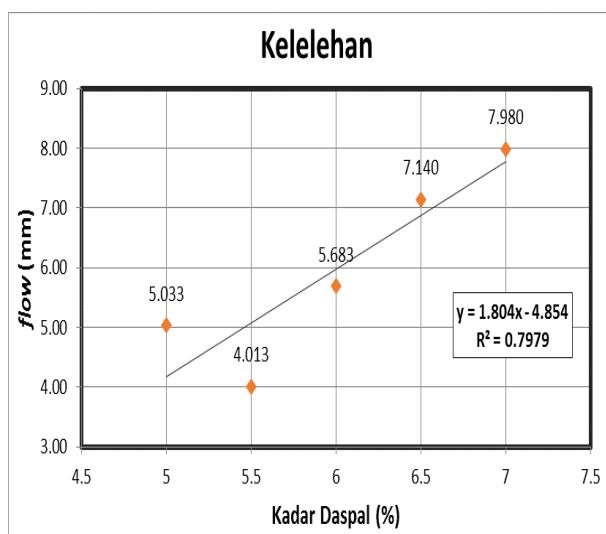


Gambar 5 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan analisis regresi polinomial pada nilai stabilitas didapatkan persamaan kuadrat dengan “a” bernilai negatif yang membentuk kurva parabola dengan titik ekstrim maksimum. Hal ini dapat menunjukkan bahwa penambahan kadar daspal (%) dapat menaikkan nilai stabilitas sampai titik maksimum dan menurunkan nilai stabilitas setelah melewati titik maksimum. Berdasarkan analisis regresi diperoleh Koefisien Determinasi (R^2) = 0,8506 ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (stabilitas) dengan pengaruh sebesar 85,06%. Penambahan kadar daspal (%) dapat menaikkan nilai stabilitas dan juga dapat menurunkan nilai stabilitas. Hal ini dikarenakan penambahan kadar daspal (%) yang terus menerus tidaklah menyebabkan nilai stabilitas semakin tinggi, karena sudah tidak efektif lagi. Kadar daspal yang terlalu tinggi menyebabkan daspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Daspal yang berlebihan tidak mampu lagi diserap oleh rongga dalam campuran, apabila ada beban lalu-lintas yang menambah pemadatan lapisan, mengakibatkan aspal meleleh keluar, yang disebut *bleeding*.

Adapun syarat nilai stabilitas yang ditetapkan oleh Bina Marga (1987) adalah min. 550 kg untuk lalu lintas berat, sedangkan *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* menetapkan nilai minimum untuk stabilitas adalah 800 kg. Maka, nilai stabilitas untuk semua benda uji telah memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Kelelahan (*Flow*)

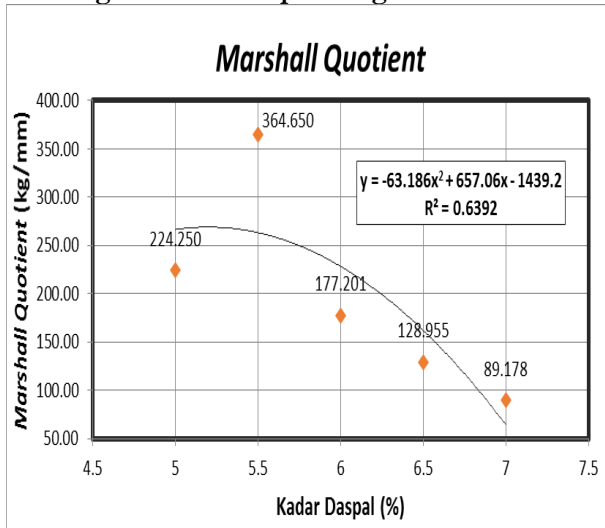


Gambar 6 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai Kelelahan (*Flow*)

Berdasarkan analisis regresi linier pada nilai kelelahan didapatkan persamaan linier dengan koefisien X positif. Hal ini membuktikan bahwa semakin meningkatnya prosentase kadar daspal dalam komposisi campuran akan meningkatkan nilai kelelahan (*flow*). Berdasarkan analisis regresi diperoleh Koefisien Determinasi (R^2) = 0,7979

ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) dapat mempengaruhi variabel terikat (*flow*) dengan pengaruh sebesar 79,79%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan nilai *flow* semakin membesar, hal ini diakibatkan oleh bertambahnya kadar daspal dalam campuran, sehingga benda uji lebih mampu mengikuti perubahan bentuk sampai benda uji tersebut hancur karena pembebanan. Adapun syarat nilai *flow* yang ditetapkan oleh Bina Marga (1987) dan *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* menetapkan nilai minimum untuk *flow* adalah 2 – 4 mm. Maka, nilai *flow* untuk semua benda uji belum memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Hubungan Kadar Daspal dengan Nilai *Marshall Quotient*



Gambar 7 Grafik hubungan Kadar Daspal dengan Nilai *Marshall Quotient*

Berdasarkan analisis regresi polinomial pada nilai *marshall quotient* didapatkan persamaan kuadrat dengan nilai “a” negatif yang membentuk kurva parabola dengan titik ekstrim maksimum. Hal ini dapat menunjukkan bahwa penambahan kadar daspal (%) dapat menaikkan nilai *marshall quotient* sampai titik maksimum dan menurunkan nilai *marshall quotient* setelah melewati titik maksimum. Berdasarkan analisis regresi polinomial diperoleh Koefisien Determinasi (R^2) = 0,6392, ini menunjukkan pengaruh variabel bebas (Kadar Daspal) sangat mempengaruhi variabel terikat (*marshall quotient*) dengan pengaruh sebesar 63,92%. Penambahan kadar daspal dapat menyebabkan nilai *marshall quotient*. Adapun syarat nilai *marshall quotient* yang ditetapkan oleh Bina Marga (1987) adalah 200 – 350 kg/mm untuk lalu lintas berat. Maka, nilai *marshall quotient* untuk benda uji dengan kadar daspal 5% dan 5,5% telah memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan sedangkan untuk benda uji dengan kadar daspal 6%, 6,5%, dan 7% belum memenuhi syarat untuk dibuat lapis perkerasan jalan.

Penentuan Kadar Daspal Optimum

Berdasarkan dari perhitungan stabilitas dapat dibuat suatu hubungan untuk mendapatkan kadar daspal optimum. Kadar daspal optimum adalah kadar daspal yang akan menghasilkan karakteristik terbaik pada suatu campuran daspal. Kadar daspal optimum ini akan dijadikan acuan pelaksanaan dilapangan. Kadar daspal optimum didapatkan dari nilai titik puncak / titik ekstrim grafik hubungan stabilitas dengan kadar daspal dari grafik persamaan regresi polinomial. Dari grafik hubungan stabilitas dengan kadar daspal diperoleh persamaan kuadrat:

$$y = -165,53x^2 + 1735,5x - 3367,4$$

Maka dari persamaan kuadrat tersebut, untuk mencari titik ekstrim di sumbu X_{max} adalah

$$\begin{aligned} X_{max} &= -\frac{b}{2a} \\ &= -\frac{1735,5}{2(-165,53)} \\ &= 5,242 \end{aligned}$$

Jadi didapatkan kadar daspal optimum yaitu 5,242%

Karakteristik Campuran Saat Kadar Daspal Optimum

Setelah mendapatkan nilai kadar daspal optimum, kemudian dapat dicari besarnya rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi daspal (VFB), kepadatan, stabilitas, pelelehan (*flow*), dan

marshall quotient pada saat kadar daspal optimum, yang kemudian dibandingkan dengan *Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987* dan *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)*.

Tabel 6 Nilai karakteristik *marshall* pada kadar daspal optimum

KAO	Karakteristik Campuran	Persamaan	Nilai	Spesifikasi
5.242	VIM	$y = -0.3571x + 4.3465$	2.474	3.0 - 5.0 *) 3.0 - 5.0 (**)
5.242	VMA	$y = 1.9726x + 2.4872$	12.828	Min. 15 *) -
5.242	VFB	$y = 4.6726x + 56.263$	80.758	Min. 65 *) -
5.242	Kepadatan	$y = -0.0294x + 2.5547$	2.401	- 2 - 3 (**)
5.242	Stabilitas	$y = -165.53x^2 + 1735.5x - 3367.4$	1181.564	Min. 800 *) Min. 550 (**)
5.242	Flow	$y = 1.804x - 4.854$	4.603	2 - 4 *) 2 - 4 (**)
5.242	MQ	$y = -63.186x^2 + 657.06 - 1439.2$	268.847	- 200 - 350 (**)

Berdasarkan *Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3)* untuk nilai VFB dan stabilitas sudah memenuhi persyaratan. Namun untuk nilai VIM VMA, dan *flow* masih belum memenuhi persyaratan. Sedangkan berdasarkan persyaratan tes *Marshall Bina Marga 1987* semua karakteristik sudah memenuhi kecuali nilai VIM dan *flow*.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil analisis regresi diperoleh koefisien determinasi (R^2) di atas 60%, hal ini menunjukkan bahwa variabel bebas (kadar daspal) dapat mempengaruhi variabel terikat (karakteristik marshall).
- Berdasarkan analisis terhadap kadar daspal optimum didapatkan nilai kadar daspal optimum pada kadar daspal 5,242%, sehingga nilai rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi daspal (VFB), kepadatan, stabilitas, kelelahan (*flow*), dan marshall quotient adalah sebagai berikut :
 - Nilai VIM pada kadar daspal optimum adalah 2,474%. Berdasarkan Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) nilai VIM adalah sebesar 3% – 5%, jadi untuk nilai VIM pada saat kadar daspal optimum belum memenuhi persyaratan dan spesifikasi.
 - Nilai VMA pada kadar daspal optimum adalah 12,828%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) nilai VMA adalah minimal 15%, jadi untuk nilai VMA pada saat kadar daspal optimum belum memenuhi spesifikasi.
 - Nilai VFB pada kadar daspal optimum adalah 80,758%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) nilai VFB adalah minimal 65%, jadi untuk nilai VFB pada saat kadar daspal optimum sudah memenuhi spesifikasi.
 - Nilai kepadatan (*density*) pada kadar daspal optimum adalah 2,401 gr/cm³. Berdasarkan Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987 nilai kepadatan (*density*) adalah 2 gr/cm³ - 3 gr/cm³, jadi untuk nilai kepadatan (*density*) pada saat kadar daspal optimum sudah memenuhi persyaratan.
 - Nilai stabilitas pada kadar daspal optimum adalah 1181,564 kg. Berdasarkan Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987 nilai stabilitas adalah minimal 550 kg dan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) nilai stabilitas adalah minimal 800 kg, jadi untuk nilai stabilitas pada saat kadar daspal optimum sudah memenuhi persyaratan dan spesifikasi.
 - Nilai *flow* pada kadar daspal optimum adalah 4,603 mm. Berdasarkan Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) nilai *flow* adalah sebesar 2 mm – 4 mm, jadi untuk nilai *flow* pada saat kadar daspal optimum belum memenuhi persyaratan dan spesifikasi.
 - Nilai marshall quotient pada kadar daspal optimum adalah 268,847 kg/mm. Berdasarkan Persyaratan Tes Marshall Bina Marga 1987 nilai marshall quotient adalah 200 kg/mm – 350 kg/mm jadi untuk nilai marshall quotient pada saat kadar daspal optimum sudah memenuhi persyaratan.

SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan dalam penelitian ini:

- Sebaiknya dilakukan trial gradasi agregat, hal ini dianjurkan agar nilai karakteristik yang belum memenuhi dapat terpenuhi.

- 2) Perlu diadakan penelitian lanjutan untuk mengkaji penggunaan daspal modifikasi sebagai bahan pengikat dalam campuran yang ditinjau dari kuat tarik tak langsung (ITS), kuat tekan bebas (UCS), dan permeabilitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Bapak Ir. Ary Setyawan MSc, PhD dan Ir. Djumari, M.T. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Baihaqi, Ahmad. 2015. *Analisis Indeks Workability Pada Daspal (Damar Aspal) Jabung Sebagai Bahan Pengikat Perkerasan Jalan Pengganti Aspal Konvensional*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2008. *SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2008. *SNI 1969-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*, SKBI-2.326.UDC.625.73(02), Biro Penerbit 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. 1991. *SNI 06-2456-1991 Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SNI 06-2434-1991 Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SNI 06-2433-1991 Metode Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Dengan Cleve Land Open Cup*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SNI 06-2488-1991 Metode Pengujian Fraksi Aspal Cair Dengan Cara Penyulingan*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SNI 06-2432-1991 Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2008. *SNI 06-2489-2008 Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- 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. 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.
- Djajapertjunda, S. dan S. Partadireja. 1973. *Beberapa Catatan Tentang Damar di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Kehutanan.
- Djoko Untung Soedarsono. 1979. *Konstruksi Jalan Raya*. Jakarta. Pekerjaan Umum.
- Emha, Fieza Abraham. 2015. *Evaluasi Karakteristik Marshall Pada Daspal (Damar Aspal) Jabung Sebagai Bahan Pengikat Pada Perkerasan Jalan*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Gusti, R. Esa Pangersa, Zulnely dan Evi K. 2014. *Sifat Fisiko Kimia Damar Mata Kucing Hasil Pemurnian Tanpa Pelarut*. Bogor: Pusat penelitian dan Pengembangan Keteknikan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Jonathan, Sarwono. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. *Rencana Strategis Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2015-2019*. Jakarta.
- Masthura. 2010. *Karakterisasi Batu Bata Dengan Campuran Abu Sekam Padi*. Medan. Universitas Sumatera Utara.
- Nasution, Muhammad Fachri. 2015. *Studi Karakteristik Damar Aspal Berdasarkan Penetration Grade Dibandingkan Dengan Aspal Pertamina Dan Asbuton*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Rohman, Taufik. 2015. *Tinjauan Kuat Tarik Tidak Langsung, Kuat Tekan Bebas, Dan Permeabilitas Daspal (Damar Aspal) Jabung Sebagai Pengikat Pada Perkerasan Jalan*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.