

JURNAL PENELITIAN TEKNIK SIPIL

Intensip

Informasi Teknik Sipil



H A S W A R
312 15 036

DYAH ANGGRAENI PUSPAWATI
312 15 045

**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONSTRUKSI SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018**

KARAKTERISTIK LAPISAN ASPAL BETON *ASPHALT CONCRETE* – *WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN VARIASI BAHAN *SLAG* NIKEL SEBAGAI FILLER

ABSTRAK

Lapis Aus atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah jenis lapis perkerasan yang terletak paling atas dan bertekstur paling halus serta berhubungan langsung dengan cuaca. Campuran aspal beton tersebut terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah slag nikel.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan nilai guna slag nikel yang lebih baik daripada hanya sebagai bahan timbunan saja. Perancangan campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) menggunakan *marshall test* meliputi penentuan kadar aspal rencana, pembuatan benda uji, uji *marshall* dan *stabilitas marshall* sisa.

Pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) normal yang memenuhi spesifikasi karakteristik campuran yaitu 5,98%. Campuran Aspal Beton *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan variasi bahan slag nikel sebagai filler menghasilkan persentase kadar slag nikel yang memenuhi spesifikasi yaitu 45%. Dari hasil pengujian *marshall* sisa dengan waktu perendaman selama 24 jam pada campuran yang mengandung kadar slag nikel 23% nilai *flow* lebih tinggi dibandingkan dengan perendaman selama 30 menit, sedangkan, nilai *stabilitas* dan *Marsall Quo* lebih rendah dibandingkan dengan perendaman 30 menit.

Kata kunci : Lapis Aus/AC-WC, Slag Nikel, Kadar Aspal Optimum (KAO), *Marshall test*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aspal beton (Laston) sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Laston (*Asphalt Concrete*) yang dibuat sebagai campuran panas (*Hot Mix*) merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur dan konstruksi perkerasan yang paling umum digunakan. Ada tiga jenis aspal beton yang dibedakan atas penempatannya dalam susunan lapis perkerasan menurut Bina Marga yaitu Lapis Aspal Beton – Lapis Aus atau AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), Lapis Aspal Beton – Lapis Antara atau AC – BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*), dan Lapis Aspal Beton – Lapis Pondasi atau AC–Base (*Asphalt Concrete – Base*). Lapis Aspal Beton (Laston) – Lapis Aus adalah jenis lapis perkerasan yang terletak paling atas dan bertekstur paling halus serta berhubungan langsung dengan cuaca.

Campuran aspal beton tersebut terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler dan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Filler yang biasa disebut juga bahan pengisi dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Bahan-bahan pencampur ini harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan yang sudah ada

agar perkerasan jalan aspal beton memiliki stabilitas dan fleksibilitas yang baik.

Persentase yang kecil pada filler terhadap campuran beraspal, bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat Marshall yang juga merupakan kinerja campuran terhadap beban lalu lintas. Penelitian penggunaan jenis filler sebagai bahan campuran perkerasan telah banyak dilakukan seperti semen, kapur, fly ash, serbuk genting, lanau dsb. Bahan semen dan fly ash merupakan bahan terbaik yang boleh dipakai sebagai filler, sedangkan kapur sebagai bahan filler membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak untuk bisa menghasilkan nilai stabilitas yang tinggi¹. Bahan lain yang belum digunakan sebagai bahan filler adalah slag nikel.

Sebagai limbah buangan hasil pengolahan bijih nikel, selama ini slag hanya digunakan sebagai bahan timbunan yang kurang memiliki nilai ekonomis. Jika dilihat secara visual, bentuk fisik dari slag nikel ini menyerupai agregat baik yang halus menyerupai pasir maupun yang kasar menyerupai kerikil. Proses peleburan bijih nikel tersebut menghasilkan limbah berupa slag yang jumlahnya sangat besar. Slag tersebut harus ditangani atau dimanfaatkan dengan benar karena berpotensi menimbulkan masalah lingkungan serta fenomena sosial di masyarakat. Dengan demikian diharapkan dapat mengurangi efek pencemaran yang ditimbulkan dan juga dapat

¹ (Pratomo), Hadi Ali. Universitas Lampung Bandar Lampung.

memberikan nilai ekonomis bagi *slag* tersebut². Penggunaan *slag* nikel harus ditingkatkan untuk mengurangi pencemaran yang ditimbulkan dan memberikan manfaat yang lebih baik daripada hanya digunakan sebagai bahan timbunan saja.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian “**Karakteristik Lapisan Aspal Beton Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) dengan Variasi Bahan Slag Nikel Sebagai Filler**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

- 1) Berapa nilai kadar aspal optimum (KAO) dari campuran aspal beton *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* dengan variasi *slag* nikel sebagai filler?
- 2) Bagaimana pengaruh penggunaan variasi *slag* nikel sebagai filler pada karakteristik lapisan aspal beton *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum (KAO) dari campuran aspal beton *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* dengan *slag* nikel sebagai filler
- 2) Untuk mengetahui karakteristik aspal beton *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* dengan variasi bahan *slag* nikel sebagai filler

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya pengujian ini diharapkan dapat memberikan mafaat yaitu sebagai berikut:

- 1) Memperoleh referensi mengenai karakteristik lapisan aspal beton *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* dengan variasi bahan *slag* nikel sebagai filler.
- 2) Meningkatkan nilai guna *slag* nikel untuk mengurangi efek pencemaran yang ditimbulkan dan dapat memberikan nilai ekonomis bagi *slag* tersebut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

- 1) Achmad dan Salwiah (2008)³: “Penggunaan Slag Nikel Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran

Hot Rolled Sheet-Binder Course (HRS-BC)” dari hasil penelitiannya diperoleh variasi yang paling baik digunakan setelah daur ulang dilakukan adalah variasi III (50% slag nikel – 50% batu pecah dengan kadar aspal optimum 6,05%) menghasilkan nilai *Marshall Quotient* pada perendamanan 24 jam sebesar 374 kg/mm dan variasi IV (25% slag nikel – 75% batu pecah dengan kadar aspal optimum 6,10%) menghasilkan nilai MQ pada perendamanan 24 jam sebesar 441 kg/mm.

- 2) Arsyad dan La Ode Muhammad Nurrakhmad (2008)⁴: “Penggunaan *Slag* Nikel Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Mekanis Pada Campuran Beton Aspal AC-BC” dari hasil penelitiannya diperoleh kadar aspal optimum benda uji variasi slag nikel 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% adalah 6,27%, 6,30%, 6,12%, 5,125%, dan 5,072%. Pada perendaman standar variasi slag nikel 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% diperoleh nilai *Marshall Quotient* masing-masing adalah 528 kg/mm, 409 kg/mm, 424 kg/mm, 389 kg/mm, dan 385 kg/mm. Penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton aspal AC-BC dapat menurunkan kadar aspal optimum, dan meningkatkan nilai stabilitas. Serta penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton aspal AC-BC yang mencapai optimum pada kadar aspal 6,30% dan prosentase kadar slag nikel sebesar 25%.

- 3) Anas Tahir (2009)⁵: “Karakteristik Campuran Beton Aspal AC-WC dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara” dari hasil penelitiannya diperoleh stabilitas campuran yang menggunakan filler abu terbang batu bara cenderung mengalami kenaikan sampai pada batas optimum kemudian mengalami penurunan. Stabilitas tertinggi tercapai pada kadar aspal 6%. Nilai fleksibilitas campuran dinyatakan dengan *Marshall Quotient* (MQ), menunjukkan bahwa nilainya cenderung meningkat seiring dengan

² Wayan, dkk. Universitas Udayana Denpasar

³ Achmad dan Salwiah. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

⁴ Arsyad dan La Ode Muhammad Nurrakhmad. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

⁵ Anas Tahir. Universitas Tadulako Palu

bertambahnya kadar filler abu terbang batu bara kedalam campuran beton aspal. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa campuran semakin kaku dengan nilai MQ yang cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya variasi kadar filler abu terbang batu bara kedalam campuran. Durabilitas campuran dinyatakan dengan nilai stabilitas sisa. Nilai durabilitas meningkat seiring meningkatnya kadar filler abu terbang batu bara yang digunakan berturut 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% yaitu sebesar 91,433%, 93,042%, 95,216%, 95,400%, dan 95,703%. Untuk rentang kadar filler 4% sampai 8% meningkatkan nilai durabilitas, yang mengindikasikan adanya ketahanan campuran terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas atau nilai keawetan yang cukup baik.

2.2 Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

Lapis Aspal Beton (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu⁶.

Pembuatan laston dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya. Sebagai lapis permukaan, lapis aspal beton harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang tinggi⁷. Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis dibawahnya dari rembesan air.
- 2) Sebagai lapis pondasi atas.
- 3) Sebagai lapis pembentuk pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan dan pemeliharaan jalan.

Sesuai fungsinya maka lapis aspal beton mempunyai kandungan agregat dan aspal yang berbeda. Sebagai lapis pondasi, maka kadar

aspal yang dikandungnya haruslah cukup sehingga dapat memberikan lapis yang kedap air. Agregat yang dipergunakan agak kasar jika dibandingkan dengan aspal beton yang berfungsi sebagai lapis aus atau lapisan permukaan.

Aspal beton terdiri dari tiga macam lapisan, yaitu Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete Wearing Course* atau AC-WC), Laston Lapis Antara (*Asphalt Concrete Binder Course* atau AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete – Base* atau AC-Base). Jenis lapis aspal beton yang digunakan dalam pengujian ini adalah Lapis Aspal Beton – Lapis Aus *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC), dengan tebal minimum adalah 4 cm.

Asphalt Concrete Wearing Course atau AC-WC merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan ini tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air. Walaupun bersifat non structural, *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya.

2.3 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperature tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam maupun pelaburan. Daya tahannya (*durability*) berupa kemampuan aspal mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran aspal dan agregat. Fungsi aspal antara lain adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas.
- 2) Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.
- 3) Lapis resap pengikat (*prime coat*) adalah lapisan tipis aspal cair yang diletakkan di atas lapis pondasi sebelum lapisan berikutnya.

⁶ SNI 03-1737-1989

⁷ Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987

- 4) Lapis pengikat (*tack coat*) adalah lapis aspal cair yang diletakkan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi sebagai pengikat diantara keduanya.
- 5) Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan filler.

Tabel 2.1 Ketentuan-Ketentuan untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas Dinamis 60°C	SNI 06-6441-2000	160-240
3.	Viskositas Kinematis 135°C	SNI 06-6441-2000	≥ 300
4.	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2434:2011	≥ 232
7.	Kelarutan (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
8.	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
9.	Stabilitas penyimpanan: Perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
10.	Partikel yang lebih halus 150 micron (%)	-	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):			
11.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
12.	Viskositas Dinamis 60°C	SNI 03-6441-2000	≤ 800
13.	Penetrasi pada 25°C	SNI 06-2456-1991	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
15.	Keelastisan setelah pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

2.4 Bahan pengisi (filler)

Filler berfungsi untuk saling mengikat diantara agregat agar membentuk suatu kesatuan yang kokoh dan solid yang kemudian diikat oleh aspal sesuai proporsi. Menurut Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Tahun 2010, bahan pengisi yang ditambahkan ke dalam beton dapat berupa semen Portland, debu batu, debu batu kapur, dsb. Filler yang digunakan harus bebas dari gumpalan-gumpalan dan jika pengujian analisa saringan lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) minimal 75% dan mempunyai sifat non-plastis.

2.4.1 Portland Cement (Semen)

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air yang mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam komposisi agregat hanya sekitar 1% namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

2.4.2 Slag nikel

Slag nikel merupakan limbah buangan dari industri pengolahan nikel membentuk liquid panas yang kemudian mengalami pendinginan sehingga membentuk batuan alam yang terdiri dari *slag* padat dan yang berpori. Jumlah *slag* nikel kian hari kian menumpuk, karena setiap proses pemurnian satu ton produk nikel menghasilkan limbah padat 50 kalinya atau setara 50 ton. Sekitar 70% komposisi kimia *slag* nikel terdiri dari Silika 41,47%, Ferri Oksida 30,44% dan Alumina 2,58%. Dengan komposisi silika yang cukup besar pada *slag* nikel, diharapkan proses hidrasi yang terjadi antara pasta semen dan agregat membentuk *interface* yang lebih sempurna, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada *interface*, atau walaupun terjadi kehancuran pada *interface* diperlukan energi yang cukup tinggi, dengan kata lain akan diperoleh kekuatan yang cukup tinggi⁸.

2.5 Agregat Kasar

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan (*Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jendral Bina Marga 1998*). Agregat yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) yang harus bersih, keras, awet serta bebas dari lempung atau bahan lainnya. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap slip yang tinggi sehingga menjamin keamanan lalu lintas. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	Modifikasi		Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 8%
	500 putaran		Maks. 40%
Kekekalan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90*
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan avakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2%

Catatan:

*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan

⁸ Sugiri. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan, Vol.1 No. 1.

90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementrian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

2.6 Agregat Halus

Agregat halus adalah material yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar dan juga untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
- 2) Semakin kasar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitas campuran dan menambah kekasaran permukaan.
- 3) Agregat halus pada ayakan No. 4 sampai ayakan No. 30 penting dalam memberikan kekasaran yang baik untuk kendaraan pada permukaan aspal.
- 4) Agregat halus pada ayakan No. 30 sampai ayak No. 200 penting untuk menaikkan kadar aspal, akibatnya campuran akan lebih awet.
- 5) Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting untuk memperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan. (Darta Suhendra, 2013).

Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Ada beberapa parameter yang bisa menjadi pembanding untuk penggunaan agregat halus sesuai dengan karakteristik yang diharapkan.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementrian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

2.7 Metode Pemeriksaan Karakteristik Material

- 1) Pemeriksaan Agregat Kasar
 - a) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat kasar dalam keadaan jenuh air kering permukaan

(SSD) serta untuk mengetahui persentase berat air yang dapat diserap oleh agregat kasar yang dihitung terhadap berat keringnya.

1. Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) adalah perbandingan antara agregat kering dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
2. Berat jenis jenuh permukaan kering (*Saturated Surface Dry Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh (SSD) dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
3. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.
4. Penyerapan (*Absorpsi*) adalah perbandingan antara berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen

Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dihitung dengan rumus:

Berat jenis kering (curah) :

$$\frac{Bk}{Bj - Ba}$$

Berat jenis kering SSD :

$$\frac{Bj}{Bj - Ba}$$

Berat jenis semu :

$$\frac{Bk}{Bk - Ba} \times 100\%$$

Sumber: SNI 1970:2008

Keterangan:

Bj = Berat agregat kondisi SSD di udara (gram)

Ba = Berat agregat dalam air (gram)

Bk = Berat kering oven (gram)

b) Angularitas

Angularitas merupakan suatu pengukuran penentuan jumlah agregat berbidang pecah. Susunan permukaan yang kasar yang menyerupai kekasaran kertas ampelas mempunyai kecenderungan untuk menambah kekuatan campuran, dibanding

dengan permukaan yang licin. Ruangan agregat yang kasar biasanya lebih besar sehingga menyediakan tambahan bagian untuk diselubungi oleh aspal.

- Angularitas agregat kasar

Angularitas agregat kasar adalah persentase dari berat pertikel agregat lebih besar dari 4,75 mm (No. 4) dengan satu atau lebih bidang pecah.

Angularitas agregat kasar dihitung dengan persamaan:

$$\text{Angularitas} = \frac{A}{B} \times 100 \%$$

Sumber: SNI 1969:2008

Keterangan:

A = Berat agregat yang mempunyai bidang pecah.

B = Berat total benda uji tertahan saringan 4,75 mm (No. 4).

- c) Pemeriksaan keausan agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka keausan agregat kasar, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula yang dinyatakan dalam persentase. Persentase keausan yang diperoleh dimaksudkan sebagai pegangan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi los angeles.

Keausan dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100$$

Sumber: SNI 2417:2008

Keterangan:

A = Berat benda uji semula (gram)

B = Berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram)

- d) Pemeriksaan kepipihan dan kelonjongan agregat

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui persentase indeks kepipihan dan kelonjongan suatu agregat yang dapat digunakan dalam campuran beraspal. Untuk menghitung indeks kepipihan dan kelonjongan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks kepipihan} = \frac{M3F}{M2} \times 100\%$$

$$\text{Indeks kelonjongan} = \frac{M3E}{M2} \times 100\%$$

Sumber: ASTM D4791 - 99

Keterangan:

M2 = Total berat sampel memiliki persentase besar dari 5%

M3E = Total berat sampel tertahan alat pengujian kelonjongan

M3F = Total berat sampel yang lolos pengujian kepipihan

- 2) Pemeriksaan Agregat Halus

- a) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis dan persentase berat air yang dapat diserap oleh agregat halus yang dihitung terhadap berat keringnya.

1. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh.
2. Berat kering permukaan jenuh (SSD) ialah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh.
3. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering.
4. Penyerapan (*Absorpsi*) ialah persentase berat air yang dapat diserap oleh pori terhadap berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen.

Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dihitung dengan rumus:

Berat jenis kering (curah) :

$$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$$

Berat jenis kering SSD :

$$\frac{500}{B + 500 - Bt}$$

Berat jenis Semu :

$$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

Penyerapan :

$$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Sumber: SNI 1970:2008

Keterangan:

Bt = Berat piknometer + air + benda uji (agregat halus)

B = Berat piknometer + air

Bk = Berat kering oven

- b) Pemeriksaan *sand equivalen*

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kandungan material setara pasir yang terdapat pada suatu agregat halus. Rumus *sand equivalen* yaitu sebagai berikut :

$$\text{Sand Equivalen} = \frac{B}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = Skala Pembacaan Lumpur

B = Skala Pembacaan Pasir

Sumber: SNI 03-4428-1997

c) Angularitas

Angularitas merupakan suatu pengukuran penentuan jumlah agregat berbidang pecah. Susunan permukaan yang kasar yang menyerupai kekasaran kertas ampelas mempunyai kecenderungan untuk menambah kekuatan campuran, dibanding dengan permukaan yang licin. Ruangan agregat yang kasar biasanya lebih besar sehingga menyediakan tambahan bagian untuk diselimuti oleh aspal.

- Angularitas agregat halus

Angularitas agregat halus adalah persen rongga udara yang terdapat pada agregat padat lepas. Agregat halus merupakan agregat lolos saringan 2,36 mm (No. 8). Makin besar nilai rongga udara berarti makin besar bidang pecah yang terdapat pada agregat halus. Angularitas agregat halus (persen rongga udara) dihitung sebagai berikut:

$$U = V - \frac{W}{G_{sb}} \times 100\%$$

Sumber: SNI 03-6877-2002

Keterangan:

V = Volume silinder pengukur

W = Berat bersih agregat halus

Gsb = Berat jenis dari agregat halus

U = persentase rongga agregat halus tidak dipadatkan

d) Pemeriksaan gradasi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian gradasi agregat dengan menggunakan saringan, dengan tujuan memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun kasar. Berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentasenya digambarkan pada grafik pembagian butir.

- 3) Pemeriksaan *slag* nikel sebagai filler
- Analisa saringan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian gradasi agregat dengan menggunakan saringan, dengan tujuan memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun kasar.

4) Pemeriksaan Bahan Pengikat (Aspal)

a) Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu, 25°C. Berat jenis aspal dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Berat jenis} = \frac{(B-A)}{(D-A)-(C-B)}$$

Sumber: SNI 2441:2011

Keterangan:

A = berat piknometer kosong (gram)

B = berat piknometer + aspal + penutup (gram)

C = berat piknometer + air + aspal + penutup (gram)

D = berat piknometer + air + penutup (gram)

b) Pemeriksaan penetrasi aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pemeriksaan dilakukan dengan memasukkan jarum penetrasi berdiameter 1 mm dengan menggunakan beban seberat 50 gram sehingga diperoleh beban gerak seberat 100 gram (berat jarum + beban) selama 5 detik pada temperature 25° C. Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang merupakan kelipatan 0,1 mm.

c) Pemeriksaan titik lembek aspal

Titik lembek ialah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat ± 3,5 gram yang diletakkan di atasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh melalui jarak 1 inch. Titik lembek aspal bervariasi antara 30° C sampai 200° C.

d) Pemeriksaan daktilitas

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Aspal dicetak pada

cetakan dan penarikan dilakukan dengan menggunakan alat sedemikian rupa sehingga contoh selalu terendam air.

- e) Pemeriksaan kelekatan agregat terhadap aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui kelekatan agregat terhadap aspal. Faktor yang mempengaruhi kelekatan aspal dan agregat yaitu sebagai berikut:

- 1) Sifat mekanis yang tergantung dari:

- Pori-pori dan *absorpsi*
- Bentuk dan tekstur permukaan
- Ukuran butir

- 2) Sifat kimiawi dari agregat

Agregat berpori berguna untuk menyerap aspal sehingga ikatan antara aspal dan agregat baik. Tetapi terlalu banyak pori dapat mengakibatkan terlalu banyak aspal yang terserap yang berakibat lapisan aspal menjadi tipis. Banyaknya pori-pori diperkirakan dari banyaknya air yang dapat terabsorpsi oleh agregat. Air yang telah diserap oleh agregat sukar dihilangkan seluruhnya walaupun melalui proses pengeringan sehingga mempengaruhi gaya lekat aspal dengan agregat.

Disamping hal tersebut, gaya ikatan dengan aspal dipengaruhi juga oleh sifat agregat terhadap air. Nilai kelekatan agregat terhadap aspal untuk bahan campuran dengan aspal minimal 95 %.

- f) Pemeriksaan kehilangan berat

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Penurunan berat yang besar menunjukkan banyaknya bahan-bahan yang hilang karena penguapan. Aspal tersebut akan cepat mengeras dan menjadi rapuh. Penurunan berat aspal dihitung dengan rumus:

$$\text{Penurunan berat} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\%$$

Sumber: SNI 06-2440-1991

Keterangan:

A = Berat cawan kosong (gram)

B = Cawan + berat sampel sebelum dioven (gram)

C = Cawan + berat sampel setelah dioven (gram)

- g) Pemeriksaan kelarutan bitumen dalam karbon tetraklorida

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah bitumen yang larut

dalam karbon tetraklorida. Jika semua bitumen yang diuji larut dalam CCl_4 , maka bitumen tersebut adalah murni. Disyaratkan bitumen yang digunakan untuk perkerasan jalan mempunyai kemurnian > 99 %. Hasil yang diperoleh adalah:

$$\text{Kelarutan} = 100\% - \left(\frac{b}{a} \times 100\% \right)$$

Sumber: SNI 2438:2015

Keterangan:

a = Berat aspal

b = Berat endapan

2.8 Karakteristik Campuran Aspal Beton Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

- 1) Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

- 2) Keawetan (durabilitas)

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperature. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

- 3) Kelenturan (fleksibilitas)

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

- 4) Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan aspal beton menerima lendutan

berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

5) Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Berikut yang mempengaruhi kekesatan jalan yaitu:

- a) Kekasaran permukaan dari butir-butir. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak hanya mempunyai permukaan yang kasar, tetapi yang mempunyai daya tahan.
- b) Luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir
- c) Gradasi agregat.
- d) Kepadatan campuran.
- e) Tebal film aspal.
- f) Ukuran maksimum butir agregat.

6) Kedap air (*impermeabilitas*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah aspal beton dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7) Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah :

- a) Viscositas aspal yaitu sifat kekentalan material aspal.
- b) Kepekaan aspal terhadap perubahan temperature.
- c) Gradasi dan kondisi agregat.

2.9 Sifat Volumetrik dari Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

1) Rongga Antar Agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang

diserap agregat). Rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperature pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. VMA dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

Keterangan:

VMA : volume pori antara agregat

Gmb : berat jenis bulk dari beton aspal padat

Ps : kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

Gsb : berat jenis bulk agregat

2) Rongga Udara di Dalam Campuran / *Voids in Mix* (VIM)

Rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan beraspal terdiri dari atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous.

Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. VIM dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$VIM = (100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm})$$

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

Keterangan :

VIM : volume pori dalam beton aspal padat

Gmm : berat jenis maksimum yang belum dipadatkan

Gmb : berat jenis bulk dari beton aspal padat

3) Volume Pori Butir Agregat Terisi Aspal / *Void Filled Bitumen* (VFB)

VFB adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian aspal yang mengisi VFB adalah aspal yang berfungsi untuk

menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. Dengan kata lain, VFB inilah yang merupakan persentase volume aspal beton padat yang menjadi selimuti aspal. Rumus VFB adalah sebagai berikut :

$$VFB = \frac{(VMA - VIM) \times 100}{Gmm}$$

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

Keterangan :

VFB: rongga terisi aspal, persen VMA

VMA: rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk

VIM: rongga di antara campuran, persen total campuran

Gmm: berat jenis maksimum yang belum dipadatkan

2.10 Rancangan Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

Rancangan campuran aspal panas pada penelitian ini menggunakan metode menetapkan gradasi terlebih dahulu. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang diisyaratkan dan sifat campuran yang sesuai dengan spesifikasinya.

Hasil dari rancangan aspal panas dibuatkan suatu benda uji dan pengujian dengan menggunakan alat *marshall*.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
37,5			100
25		100	90 – 100
19	100	90 – 100	76 – 90
12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
0,60	14 – 30	12 – 28	10 – 22
0,30	9 – 22	7 – 20	6 – 15
0,15	6 – 15	5 – 13	4 – 10
0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

1) Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut :

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

Keterangan:

Pb = Perkiraan kadar aspal optimum

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

FF = Nilai presentase *filler*

K = Konstanta (kira-kira 0,5 – 1)

2) Benda uji

Benda uji dibuat dengan kadar aspal yang diperoleh dari rumus di atas kemudian pembuatan benda uji disarankan membuat 5 variasi kadar aspal.

3) Uji *Marshall*

Uji *Marshall* bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial (dalam satuan mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*.

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
	Maks.	65	65	65
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	Min.	800		
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	2		3
Pelelehan (mm)	Min.	4		6
	Maks.	90		
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	2		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.			

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

4) Stabilitas *Marshall* Sisa (Keawetan)

Stabilitas *Marshall* Sisa adalah presentase minimum terhadap nilai stabilitas *Marshall*. Nilai Sifat keawetan dari campuran dapat ditunjukkan dengan indeks perendaman dan penurunan nilai stabilitas. Hal ini dimungkinkan untuk memperoleh rongga udara yang besar pada kondisi yang ekstrim pada suatu campuran sehingga diperoleh campuran yang lebih fleksibel meski dalam kondisi terburuk sekalipun.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Karakteristik Material

4.1.1 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar untuk rancangan campuran laston lapis aus adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar (batu pecah 1-2)

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	SNI 03-4142-1996	(tabel)	-	
Abrasi dengan mesin los angeles	SNI 2417:2008	24.84	Maks. 40	%
Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791	9.65 ; 9.26	Maks. 10	
Angularitas	SNI 7619:2012	100/90.84	95/90	
Berat Jenis dan Penyerapan :				
1. Bulk	SNI 1969:2008	2.52	Perbandingan agregat kasar dan halus maks. 0,2	gram
2. SSD		2.55		
3. Apparent		2.59		
4. Penyerapan		1.05		

Sumber: Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah 1-2) diatas memenuhi syarat spesifikasi dan dapat digunakan.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar (batu pecah 0,5-1)

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	SNI 03-4142-1996	(tabel)	-	
Abrasi dengan mesin los angeles	SNI 2417:2008	24.84	Maks. 40	%
Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791	9.65 ; 9.26	Maks. 10	
Angularitas	SNI 7619:2012	100/90.84	95/90	
Berat Jenis dan Penyerapan :				
1. Bulk	SNI 1969:2008	2.54	Perbandingan agregat kasar dan halus maks. 0,2	gram
2. SSD		2.55		
3. Apparent		2.57		
4. Penyerapan		0.50		

Sumber: Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah 0,5-1) diatas memenuhi syarat spesifikasi dan dapat digunakan.

4.1.2 Agregat Halus (Abu Batu)

Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	SNI 03-4142-1996	(tabel)	-	
Angularitas	SNI 03-6877-2002	87.77	Min. 45	%
Sand Equivalen	SNI 03-4428-1997	79.53	Min. 60	%
Berat Jenis dan Penyerapan :				
1. Bulk	SNI 1969:2008	2.39	Perbandingan agregat kasar dan halus maks. 0,2	gram
2. SSD		2.46		
3. Apparent		2.57		
4. Penyerapan		2.94		

Sumber: Analisis Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian karakteristik halus (abu batu) diatas memenuhi syarat spesifikasi dan dapat digunakan.

4.1.3 Bahan Pengikat (Aspal)

Hasil pengujian karakteristik aspal penetrasi 60/70 untuk rancangan campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Bahan Pengikat Aspal

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Berat Jenis	SNI 2441:2011	1.017	≥ 1,0	gram
Penetrasi	SNI 06-2456-1991	67.70	60-70	mm
Titik Lembek	SNI 2434:2011	48 dan 49	≥ 48	°C
Daktilitas	SNI 2432:2011	126.5	≥ 100	cm
Kelekatkan	SNI 2439:2011	95.86	Min. 95	%
Kehilangan Berat	SNI 06-2441-1991	0.284	≤ 0,8	gram
Kelarutan	AASHTO T44-03	100	≥ 99	gram

Sumber: Analisis hasil pengujian

Dari hasil pengujian karakteristik bahan pengikat Aspal diatas dinyatakan bahwa Aspal memenuhi syarat dan dapat digunakan.

4.1.4 *Slag Nikel* sebagai Filler

Hasil pemeriksaan karakteristik slag nikel sebagai filler untuk rancangan campuran laston lapis aus adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slag Nikel* sebagai Filler

Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	SNI 03-4142-1996	Tabel	-	%
Berat Jenis	SNI 15-2531-1991	3.54	-	%

Sumber: Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *slag nikel* sebagai filler dapat digunakan sebagai campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

4.2 Hasil Rancangan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)

4.2.1 Penentuan Proporsi Agregat Gabungan

Proporsi agregat gabungan diperoleh dengan menggunakan metode coba-coba (*Trial and Error*) dengan prinsip kerjanya sebagai berikut:

- 1) Memahami Batasan yang diisyaratkan
- 2) Memasukkan data spesifikasi yang diisyaratkan
- 3) Memasukkan variasi persentase dari masing-masing fraksi agregat yang menghasilkan jumlah 100% yang nilainya terdapat dalam batas gradasi dan diusahakan nilai gabungannya mendekati nilai ideal.

Dengan metode coba-coba (*Trial and Error*) tersebut diperoleh proporsi agregat untuk campuran Laston *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yaitu menentukan terlebih dahulu persentase dari masing-masing agregat kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dari agregat, selanjutnya hasil perkalian tersebut masing-masing dijumlahkan dan menghasilkan komposisi campuran.

Nilai persentase agregat gabungan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang memenuhi spesifikasi adalah :

- a) Agregat kasar (Batu pecah 1-2) = 20%
- b) Agregat kasar (Batu pecah 0,5-1) = 31%
- c) Agregat halus (Abu batu) = 45%
- d) Filler = 4%

Sesuai dengan proporsi di atas dilakukan penggabungan agregat yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.6 Nilai Presentase Agregat Gabungan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

Saringan	Kumulatif Lolos					20%	31%	45%	4%	Total	Spk
	ASTM (mm)	Agr 1/2	Agr 0.5/1	Abu Batu	Filler						
1"	25	100	100	100	100	20.00	31.00	45.00	4.00	100	100
3/4"	19.1	99.09	100	100	100	19.82	31.00	45.00	4.00	100	100
1/2"	12.5	54.90	99.79	100	100	10.98	30.93	45.00	4.00	90.91	90-100
3/8"	9.5	17.83	99.23	100	100	3.57	30.77	45.00	4.00	83.33	77-90
No. 4	4.75	1.52	19.99	100	100	0.30	6.20	45.00	4.00	55.50	53-69
No. 8	2.32	1.49	6.18	86.86	100	0.30	1.91	39.09	4.00	45.30	33-53
No. 10	2	1.49	6.16	54.22	100	0.30	1.91	24.40	4.00	30.61	21-40
No. 30	0.59	1.45	6.05	24.80	100	0.29	1.88	11.16	4.00	17.33	14-30
No. 50	0.3	1.38	5.78	11.71	100	0.28	1.79	5.27	4.00	11.34	9-22
No. 100	0.15	1.16	4.85	5.92	100	0.23	1.50	2.66	4.00	8.40	6-15
No. 200	0.075	0.60	3.74	2.02	100	0.12	1.16	0.91	4.00	6.19	4-9
PAN	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0

Sumber: Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel persentase agregat gabungan diatas maka dinyatakan memenuhi syarat dan spesifikasi untuk campuran Laston *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.

4.2.2 Pembuatan Benda Uji

Untuk mendapatkan kadar aspal rencana campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* menggunakan rumus sebagai berikut:
 $P_b = 0.035 (\% CA) + 0.045 (\% FA) + 0.18 (\% FF) + \text{Konstanta}$

Dimana :

P_b = Kadar Aspal Rencana

CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 8

FA = Agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No.200

FF = Fine filler lolos saringan No. 200

Nilai konstanta untuk Laston (AC) adalah 0.5-1

$$P_b = (0.035 \times 54.70) + (0.045 \times 39.11) + (0.18 \times 6.19) + 1$$

$$= 5.79 \text{ di bulatkan } 6$$

Sehingga digunakan kadar aspal rencana 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, dan 7%. Kemudian dari kadar aspal tersebut dibuat masing-masing tiga buah benda uji (*bricket*) untuk kadar aspal berbeda dimana total agregat untuk satu buah benda uji adalah 1200 gram, dengan kebutuhan agregat sebagai berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan Proporsi Agregat *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dari Persentase Berat Agregat dan Aspal

Kadar Aspal	Berat Aspal	Berat BP 1-2	Berat BP 0,5-1	Berat Abu Batu	Berat Filler	Berat Agregat
5.00%	60	228	353.40	513	45.6	1200
5.50%	66	226.8	351.54	510.3	45.36	1200
6.00%	72	225.6	349.68	507.6	45.12	1200
6.50%	78	224.4	347.82	504.9	44.88	1200
7.00%	84	223.4	345.96	502.2	44.64	1200

Sumber: Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian Laston *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* yang dibuat dalam bentuk benda uji dengan alat *marshall*, diperoleh hasil seperti pada tabel Analisa Pemeriksaan *Marshall*, tetapi sebelum masuk analisa tabel hasil pemeriksaan *marshall* terlebih dahulu harus dihitung :

Tabel 4.8 Perhitungan Berat Jenis Agregat Gabungan

Persentase Agregat	Berat Jenis Bulk	Berat Jenis Semu	Berat Jenis Efektif	
a	b	c	d = (b+c)/2	
Agregat 1-2	20%	2.521	2.590	2.555
Agregat 0,5-1	31%	2.539	2.572	2.555
Abu Batu	45%	2.386	2.566	2.476
Filler	4%	3.080	3.080	3.080

Sumber: Analisa Hasil Pengujian

Berat Jenis Bulk Agregat (s)

$$= \frac{\frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_3}{b_3} + \frac{a_4}{b_4} + \frac{a_5}{b_5}}{100}$$

$$= \frac{20}{2.521} + \frac{31}{2.539} + \frac{45}{2.386} + \frac{4}{3.080}$$

$$= 2.481$$

Berat Jenis Efektif Agregat (T)

$$= \frac{\frac{a_1}{d_1} + \frac{a_2}{d_2} + \frac{a_3}{d_3} + \frac{a_4}{d_4} + \frac{a_5}{d_5}}{100}$$

$$= \frac{20}{2.555} + \frac{31}{2.555} + \frac{45}{2.476} + \frac{4}{3.080}$$

$$= 2.532$$

4.2.3 Hasil Pengujian *Marshall* Pada *Bricket* Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

Hasil pengujian *Marshall* adalah sifat campuran beraspal dan dapat diperoleh setelah seluruh persyaratan material, berat jenis, dan perkiraan kadar aspal rencana telah terpenuhi. Diperlukan juga angka koreksi dan kalibrasi pada alat uji tekan *Marshall*. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

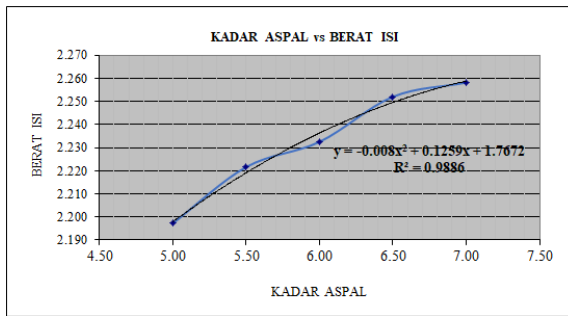
Tabel 4.9 Pengujian *Marshall* Pada *Bricket* Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

Kadar Aspal	Berat Isi	VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	Koef. Marshall
5.00	2.197	6.760	15.879	57.484	1906.31	1.68	1136.967
5.50	2.222	5.074	15.394	67.054	2018.85	2.28	885.460
6.00	2.233	4.088	15.428	77.966	1996.34	2.58	773.776
6.50	2.252	2.790	15.143	82.825	1969.33	2.92	674.429
7.00	2.258	1.518	15.367	90.761	1734.14	2.42	715.601
Spesifikasi							
Min.	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	250 kg/mm
Maks.	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Analisa Hasil Pengujian

Setelah mendapatkan hasil pengujian *Marshall* hasilnya digambarkan dalam grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter-parameter yang telah dihitung.

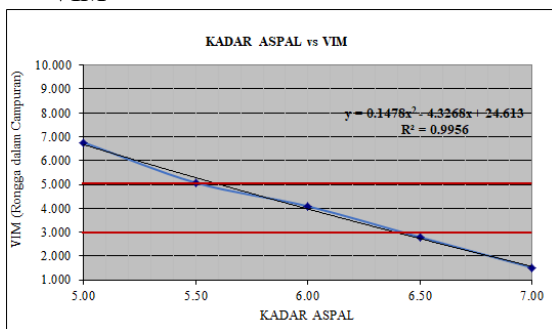
- 1) Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Berat Isi



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Berat Isi

Dari gambar grafik dapat dibaca bahwa penambahan kadar aspal akan meningkatkan nilai berat jenis campuran hingga rongga dalam campuran terisi oleh aspal dengan kata lain penambahan aspal akan menambah berat campuran dalam volume yang sama. Hal ini ditunjukkan dalam grafik pada kadar aspal 5.00% sampai dengan 7.00%.

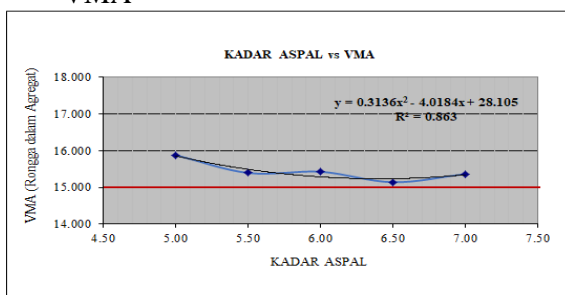
2) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VIM



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VIM

Pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan kadar aspal menyebabkan rongga dalam campuran mengecil. Hal ini disebabkan aspal mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga yang ada sehingga campuran menjadi semakin rapat atau rongga menjadi semakin kecil. Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44 mengizinkan nilai VIM 3% - 5% sehingga kadar aspal dengan nilai VIM yang memenuhi yaitu 5.6% sampai dengan 6.35%.

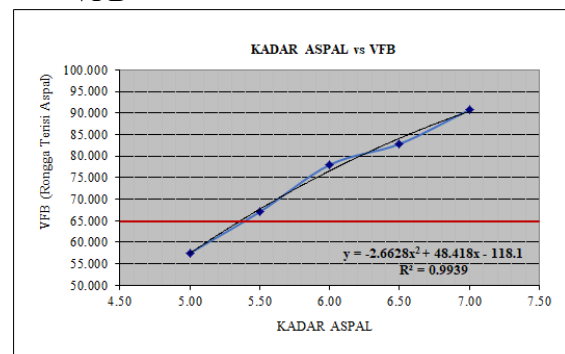
3) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VMA



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VMA

Pada gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan kadar aspal akan menyebabkan nilai VMA semakin menurun hingga rongga dalam campuran terisi oleh aspal atau volume rongga minimum dalam agregat semakin kecil. Pada grafik menunjukkan penurunan pada kadar aspal 5.00% sampai dengan 7.00%. Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44, nilai VMA minimum yang disyaratkan adalah 15%. Sehingga pada pengujian ini kadar

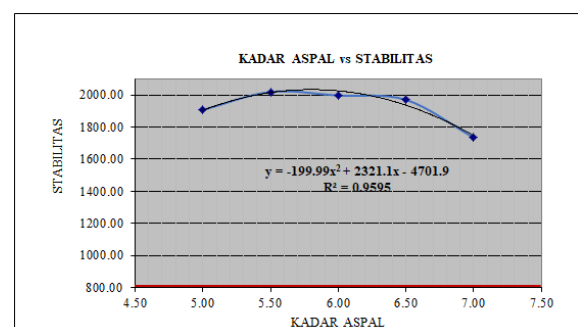
4) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VFB



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VFB

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan kadar aspal menyebabkan nilai VFB semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar aspal dalam campuran menyebabkan rongga-rongga campuran semakin banyak terisi oleh aspal. Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44, nilai VFB yang disyaratkan dalam campuran yaitu minimum 65%. Dari grafik kadar aspal yang memenuhi syarat yaitu dari kadar aspal 5.40% sampai dengan 7.00%.

5) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Stabilitas



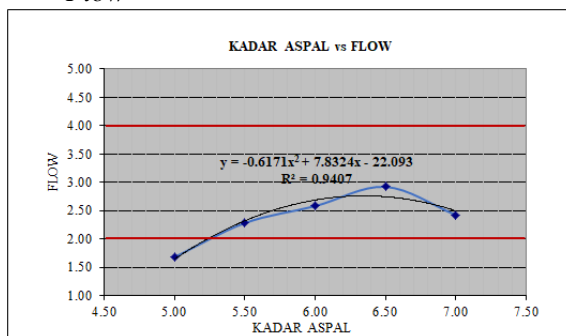
Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal campuran dari

5.00% sampai dengan 6.00% akan menyebabkan nilai stabilitas meningkat, kemudian nilai stabilitas mengalami penurunan yang kadar aspalnya 7.00% Penambahan aspal yang terus menerus tidak menyebabkan nilai stabilitas semakin tinggi karena sudah tidak efektif lagi. Kadar aspal yang terlalu tinggi menyebabkan aspal tidak menyelimuti agregat dengan baik. Aspal yang berlebihan tidak mampu diserap oleh rongga dalam agregat sehingga dapat menyebabkan *bleeding*.

Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44 memberikan batasan stabilitas minimum sebesar 800 kg.

6) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan *Flow*

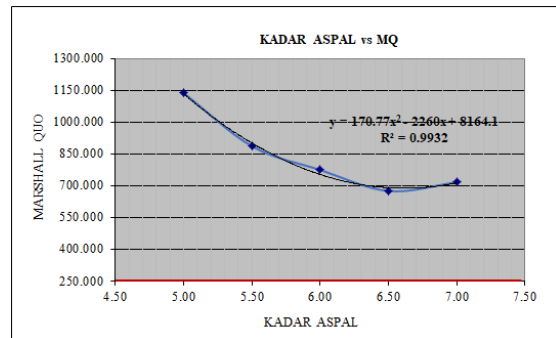


Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan *Flow*

Kelelahan plastis (*flow*) merupakan indikator terhadap lentur. Pada gambar 4.6, diperlihatkan bahwa dengan penambahan kadar aspal 5.00% sampai dengan 6.50% mengakibatkan bertambahnya nilai *flow*, namun pada kadar aspal 7.00% mengalami penurunan. Rongga terisi aspal yang semakin membesar membuat nilai *flow* semakin meningkat, sehingga benda uji lebih mampu mengikuti perubahan bentuk sampai benda uji tersebut hancur karena pembebanan tetapi besarnya *flow* juga dibatasi untuk mencegah terjadi gelombang dan alur pada perkerasan, sehingga memberikan kenyamanan dan keamanan berlalu lintas.

Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44, nilai *flow* yang disyaratkan adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Sehingga dari grafik menunjukkan bahwa kadar aspal yang memenuhi syarat adalah 5.24% sampai dengan 7.00%.

7) Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Koefisien *Marshall*



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Nilai *Marshall Qou* merupakan pendekatan terhadap kekuatan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan. Jika campuran memiliki nilai *Marshall Qou* yang tinggi maka campuran itu kaku dan stabilitasnya rendah. Pada grafik 4.7, nilai *Marshall Qou* tertinggi pada kadar aspal 5.00% dan menurun hingga 6.50%. Dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44 memberi batasan minimum 250 kg/mm.

4.2.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan persyaratan dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 hal. 44. Di dalam Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3, ditentukan beberapa nilai sebagai persyaratan yang tidak boleh keluar dari ketentuan tersebut. Dalam tabel 4.8, ditentukan beberapa nilai persyaratan sebagai berikut :

Tabel 4.10 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

Sifat-Sifat Campuran	Laston		
	Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75	112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0	
	Maks.	1,4	
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14
			13
Rongga terisi aspal (VFB)..(%)	Min.	65	65
			65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	1800
Pelelehan (mm)	Min.	2	3
	Maks.	4	6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi VI Perkerasan Aspal Kementerian Pekerjaan Umum Edisi Tahun 2010 Revisi III.

Pada campuran normal *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), kadar aspal optimum diperoleh berdasar pada uji *Marshall*

2 x 75 tumbukan terhadap campuran dengan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* seperti yang tertera dalam gambar persentase sesuai spesifikasi dibawah ini :

KARAKTERISTIK	PERSENTASE SESUAI SPESIFIKASI						SPESIFIKASI
VIM							3,0 % - 5,0 %
VMA							Min. 15 %
VFB							Min. 65 %
STABILITAS							Min. 800 kg
FLOW							2 - 4 mm
MARSHALL QOU							Min. 250 kg/mm
	5,0	5,5	5,98	6,0	6,35	6,5	7,0

Gambar 4.8 Grafik Persentase Sesuai Spesifikasi Campuran Aspal AC-WC normal

Pada gambar diagram diatas, nilai kadar aspal optimum (KAO) campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* terdapat pada campuran dengan kadar aspal 5.98%.

4.3 Hasil Marshall benda uji dengan menggunakan slag nikel sebagai filler

Tabel 4.11 Analisa Kebutuhan Bahan Slag Nikel untuk Campuran Benda Uji Laston *Asphalt Concrete- Wearing Course (AC-WC)*

Kadar pecahan filler (slag nikel)	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Berat Sampel	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Aspal	71.70	71.70	71.70	71.70	71.70	71.70
Jumlah Agregat	1128.3	1128.3	1128.30	1128.3	1128.3	1128.3
BP 1-2						
20%	225.66	225.66	225.66	225.66	225.66	225.66
BP 0,5-1						
31%	349.77	349.77	349.77	349.77	349.77	349.77
Abu Batu						
45%	507.74	507.74	507.74	507.74	507.74	507.74
Filler (Semen)						
4%	45.13	36.11	27.08	18.05	9.03	0
Slag Nikel sebagai Filler	0	9.03	18.05	27.08	36.11	45.13
Total	1200	1200	1200	1200	1200	1200

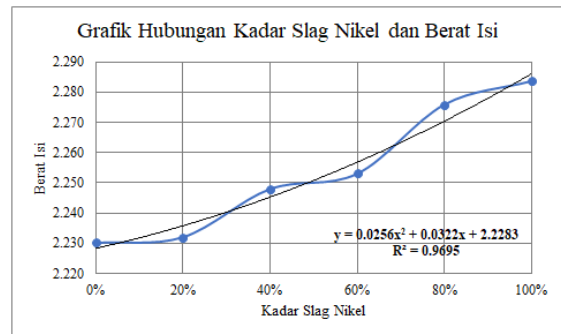
Setelah pembuatan *bricket* dengan menggunakan bahan pengganti slag nikel, selanjutnya dilakukan pengujian tekan Marshall setelah perendaman selama 30 menit pada suhu 60°C. Berikut adalah hasil pengujian Marshall test terhadap benda uji: Tabel 4.12 Pengujian Marshall pada *bricket* campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan menggunakan slag nikel sebagai filler

KADAR SLAG NIKEL	BERAT ISI	VIM	VMA	VFB	STABILITAS	FLOW	KOEFISIEN MARSHALL
0%	2.230	4.887	15.266	68.170	1935.57	2.42	800.927
20%	2.232	4.807	15.195	68.475	1818.54	2.48	732.297
40%	2.248	4.127	14.590	71.821	1404.42	2.33	604.050
60%	2.253	3.912	14.397	74.809	1238.99	2.25	550.663
80%	2.276	2.936	13.528	78.562	1011.67	1.93	523.280
100%	2.284	2.604	13.233	80.607	1027.15	1.85	555.215
Spesifikasi							
Min.	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	250 kg/mm
Maks.	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Analisa Hasil Pengujian

Setelah mendapatkan hasil pengujian Marshall hasilnya digambarkan dalam grafik hubungan antara kadar slag nikel dengan parameter-parameter yang telah dihitung.

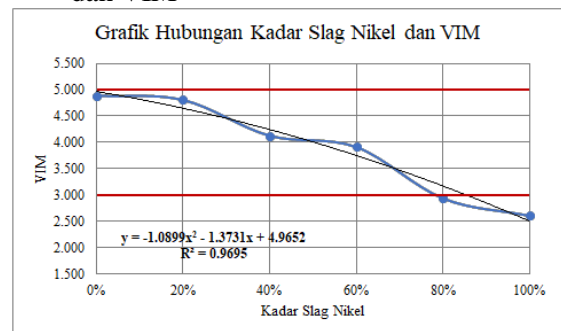
1) Grafik Hubungan antara Kadar Slag Nikel dan Berat Isi



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kadar Slag Nikel dan Berat Isi

Dari gambar grafik dapat dibaca bahwa penambahan kadar aspal akan meningkatkan nilai berat jenis campuran hingga rongga dalam campuran terisi oleh aspal, dengan kata lain penambahan aspal akan menambah berat campuran dalam volume yang sama. Berat campuran semakin bertambah seiring dengan bertambahnya slag nikel ini dikarenakan berat jenis slag nikel besar. Hal ini ditunjukkan dalam grafik pada kadar slag nikel 0% sampai 100%.

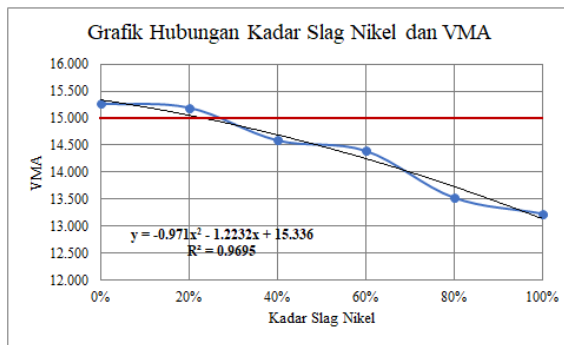
2) Grafik Hubungan antara Kadar Slag Nikel dan VIM



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kadar Slag Nikel dan VIM

Rongga dalam campuran (*Void In Mix*), adalah ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. Faktor-faktor yang mempengaruhi VIM adalah gradasi, kadar aspal dan *density*. Pada gambar grafik di atas, nilai VIM pada campuran menurun seiring bertambahnya kadar slag nikel yang digunakan. Hal ini disebabkan karena rongga yang ada terisi oleh filler slag nikel yang lebih banyak. Nilai VIM yang disyaratkan untuk campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan spesifikasi 3%-5%, jadi yang memenuhi syarat VIM yaitu pada kadar slag nikel 0% sampai 69%.

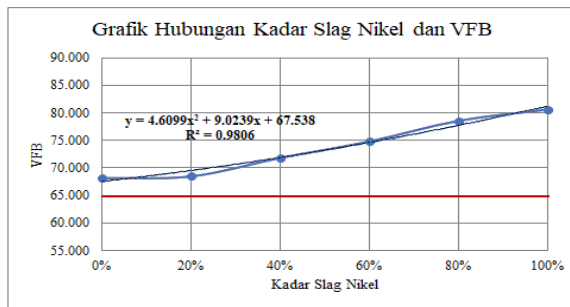
3) Grafik Hubungan antara Kadar *Slag* Nikel dan VMA



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kadar *Slag* Nikel dan VMA

Nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) merupakan persentase rongga yang ada diantara butir agregat dalam campuran aspal beton yang dinyatakan dalam (%) terhadap volume campuran beton aspal. Dari hasil pengujian menunjukkan nilai VMA terhadap variasi kadar filler *slag* nikel cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar filler *slag* nikel membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Nilai VMA yang disyaratkan dalam suatu campuran ialah minimal 15%, yang memenuhi syarat VMA yaitu yang mengandung kadar *slag* nikel 0% sampai 45%.

4) Grafik Hubungan antara Kadar *Slag* Nikel dan VFB

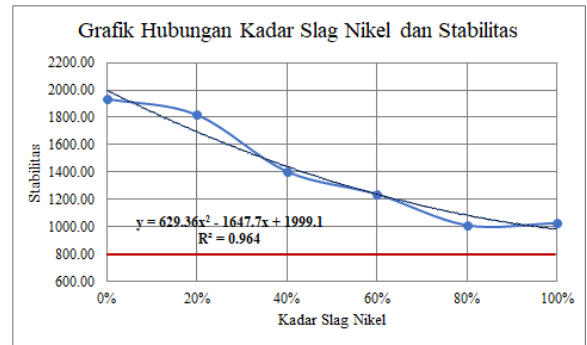


Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kadar *Slag* Nikel dan VFB

VFB (*Void Filled with Bitumen*) adalah rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butir agregat (VMA). Dari hasil pengujian menunjukan bahwa nilai VFB cenderung meningkat seiring dengan pertambahan kadar filler *slag* nikel. Hal ini disebabkan karena kadar filler *slag* nikel yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak. Nilai VFB dalam spesifikasi ialah minimal 65%, yang memenuhi persyaratan pada pengujian ini yang

mengandung kadar filler *slag* nikel 0% hingga 100%.

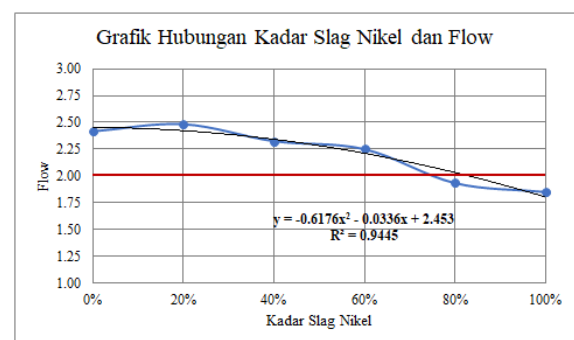
5) Grafik Hubungan antara Kadar *Slag* Nikel dan Stabilitas



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kadar *Slag* Nikel dan Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, maupun mengalami *bleeding*. Kuat tidaknya suatu lapisan perkerasan dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan, gradasi agregat, gesekan antar butir agregat, penguncian antar agregat, daya lekat serta kadar aspal dalam campuran. Nilai stabilitas diseluruh rentang kadar *slag* nikel telah memenuhi Stabilitas *Marshall* sesuai dengan nilai minimum yang disyaratkan yaitu 800 kg. Nilai stabilitas cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *slag* nikel. Hal ini diduga karena kandungan kadar aspal yang semakin tinggi seiring bertambahnya *slag* nikel di dalam campuran yang akan membuat campuran semakin mudah berubah bentuk.

6) Grafik Hubungan antara Kadar *Slag* Nikel dan Flow

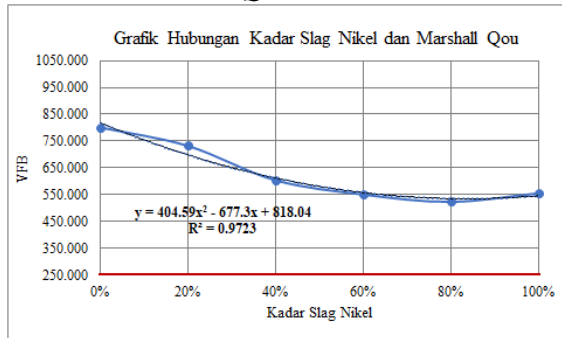


Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kadar *Slag* Nikel dan Flow

Kelelahan merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai kelelahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain viskositas dan kadar aspal.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak kadar filler *slag* nikel pada campuran aspal beton maka nilai kelelahan (*flow*) semakin menurun. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya kadar *slag* nikel nilai VFB semakin besar sehingga membuat kandungan kadar aspal yang diserap semakin banyak dapat membuat nilai *flow* semakin menurun.

7) Grafik Hubungan antara Kadar *Slag* Nikel dan *Marshall Qou*



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kadar *Slag* Nikel dan *Marshall Qou*

Pada gambar grafik memperlihatkan bahwa pengujian ini, nilai cenderung mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar filler *slag* nikel. Semakin tinggi nilai MQ suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut, sebaliknya semakin kecil nilai MQ maka semakin lentur lapis perkerasan tersebut. Nilai *Marshall Qou* pada hasil pengujian telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 250 kg/mm.

4.4 Hasil *Marshall Sisa* benda uji dengan menggunakan *slag* nikel sebagai filler

Tabel 4.13 Pengujian *Marshall Sisa* pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan *slag* nikel sebagai filler

Kadar <i>Slag</i> Nikel	Berat Isi	VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	Koef. <i>Marshall</i>
23%	2.232	4.818	15.205	68.385	1350.40	3.83	352.278
Spesifikasi							
Mfn.	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	250 kg/mm
Maks.	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Analisa Perhitungan

$$\begin{aligned}
 IKS &= \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \\
 &= \frac{1350.40}{1818.54} \times 100\% \\
 &= 74.257\%
 \end{aligned}$$

Keterangan: IKS = Indeks Kekuatan Sisa
 S1 = Rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman T₁
 S2 = Rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman T₂

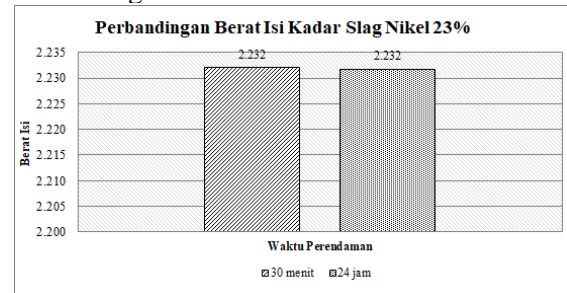
Setelah direndam selama 24 jam benda uji yang mengandung kadar *slag* nikel 23% memiliki nilai stabilitas *marshall* sisa sebanyak 74,257%. Sehingga, dapat disimpulkan benda uji yang mengandung kadar *slag* nikel 23% tidak memenuhi persyaratan. Persyaratan untuk stabilitas *marshall* sisa setelah perendaman 24 jam dalam suhu 60°C yaitu minimal 90%. Hasil pengujian *Marshall Sisa* digambarkan dalam grafik hubungan *marshall* sisa kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit dengan parameter-parameter yang telah dihitung.

Tabel 4.14 Perbandingan Pengujian *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan *slag* nikel sebagai filler dengan Waktu Perendaman

Waktu Perendaman	Berat Isi	VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	Koef. <i>Marshall</i>
30 menit	2.232	4.807	15.195	68.475	1818.539	2.483	732.297
24 jam	2.232	4.818	15.205	68.385	1350.400	3.833	352.278
Spesifikasi							
Min.	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	250 kg/mm
Maks.	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber: Analisa Perhitungan

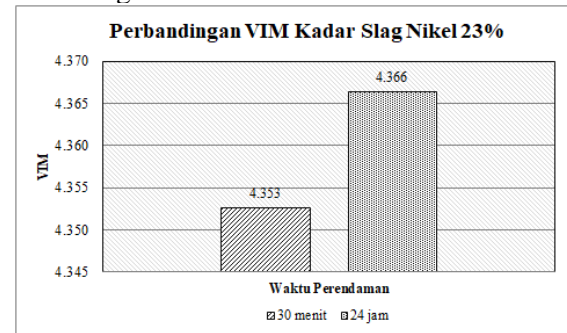
1) Diagram Berat Isi Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman



Gambar 4.15 Diagram Berat Isi Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Pada hasil pengujian terlihat berat isi kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit dan 24 jam memiliki berat isi yang sama yaitu 2.232 gram.

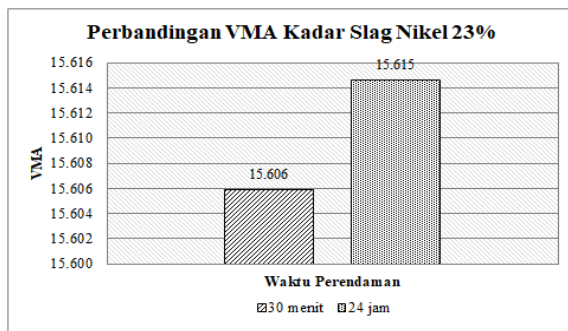
2) Diagram Nilai VIM Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman



Gambar 4.16 Perbandingan Nilai VIM Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Nilai VIM (*Void In Mixture*) merupakan persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. Pada hasil pengujian terlihat nilai VIM yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit sedikit lebih rendah dibandingkan nilai VIM pada rendaman 24 jam. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu 3%-5%. Nilai VIM perendaman selama 30 menit yaitu 4,353% sedangkan nilai VIM perendaman 24 jam yaitu 4,366%.

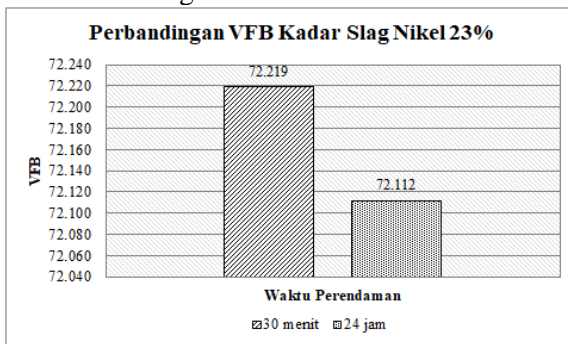
3) Diagram Nilai VMA Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman



Gambar 4.16 Diagram Nilai VMA Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Nilai VMA (*Void in Mineral Agregat*) merupakan persentase rongga yang ada diantara butir agregat dalam campuran beton aspal. Pada hasil pengujian terlihat nilai VMA yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit sedikit lebih rendah dibandingkan nilai VMA pada rendaman 24 jam. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 15%. Nilai VMA pada perendaman 30 menit yaitu 15,606% sedangkan pada rendaman 24 jam yaitu 15,615%.

4) Diagram Nilai VFB Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

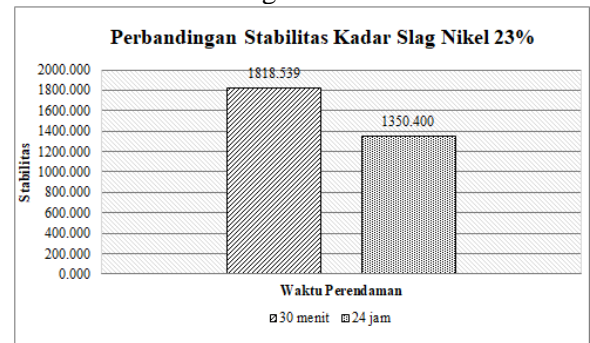


Gambar 4.17 Diagram Nilai VFB Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

VFB (*Void Filled with Bitumen*) adalah rongga yang terisi aspal pada pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang

dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butir agregat. Pada hasil pengujian terlihat nilai VFB yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit lebih tinggi dibandingkan nilai VFB pada rendaman 24 jam. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 65%. Pada rendaman 30 menit memiliki nilai VFB sebesar 72,219% sedangkan pada rendaman 24 jam sebesar 72,112%.

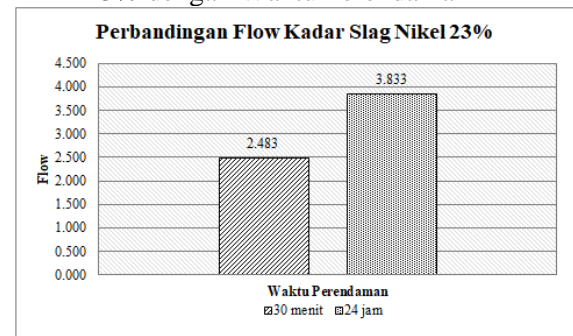
5) Diagram Nilai Stabilitas Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman



Gambar 4.18 Diagram Nilai Stabilitas Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas. Pada hasil pengujian terlihat nilai Stabilitas yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit lebih tinggi dibandingkan nilai Stabilitas pada rendaman 24 jam. Seiring lamanya perendaman nilai stabilitas campuran menurun. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 800kg. pada rendaman 30 menit nilai stabilitasnya 1818,539 kg sedangkan pada rendaman 24 jam 1350,4 kg.

6) Diagram Nilai *Flow* Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

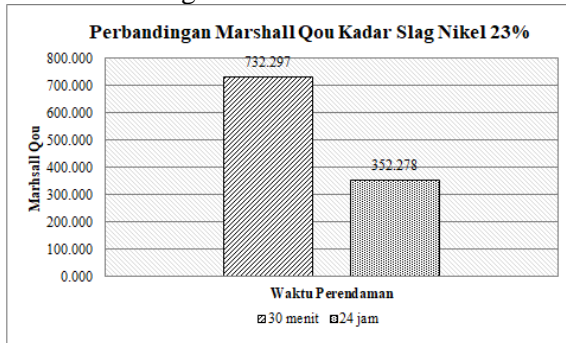


Gambar 4.19 Diagram Nilai *Flow* Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Flow (kelelahan) merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Pada hasil pengujian terlihat tingkat pelelehan yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit lebih rendah dibandingkan tingkat leleh pada rendaman 24

jam. Seiring lamanya perendaman tingkat kelelahan campuran meningkat. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 2-4 mm. Nilai *flow* pada rendaman 30 menit yaitu 2,483 mm sedangkan pada rendama 24 jam yaitu 3,833 mm.

7) Diagram *Marshall Quo* Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman



Gambar 4.20 Diagram *Marshall Quo* Kadar *Slag* Nikel 23% dengan Waktu Perendaman

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran yaitu semakin besar nilai MQ pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku campuran cenderung mudah retak, namun juga bila semakin kecil nilai MQ maka tingkat kelenturan dan plastisitas cenderung kurang stabil. Pada hasil pengujian terlihat nilai MQ yang mengandung kadar *slag* nikel 23% rendaman 30 menit lebih tinggi dibandingkan nilai MQ pada rendaman 24 jam. Namun, keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 250kg. Pada rendaman 30 menit memiliki nilai MQ sebesar 732,297 kg/mm sedangkan pada 24 jam sebesar 352,278 kg/mm.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium mengenai “*Karakteristik Lapisan Aspal Beton Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan Variasi Bahan Slag Nikel sebagai Filler*” maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- 1) Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan variasi bahan *slag* nikel sebagai filler yang memenuhi spesifikasi karakteristik campuran yaitu 5,98%.

- 2) Karakteristik pada campuran Aspal Beton *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan variasi bahan *slag* nikel sebagai filler menghasilkan nilai VIM, VMA, Stabilitas dan *Flow* semakin menurun seiring bertambahnya kadar *slag* nikel. Sedangkan berat isi semakin bertambah yang dipengaruhi oleh berat jenis *slag* nikel yang besar. Nilai VFB pun cenderung meningkat karena *slag* nikel menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak. Persentase kadar *slag* nikel yang memenuhi spesifikasi yaitu 45%. Dari hasil pengujian *marshall* sisa dengan waktu perendaman selama 24 jam pada campuran yang mengandung kadar *slag* nikel sebanyak 23% nilai *flow* lebih tinggi dibandingkan dengan perendaman selama 30 menit, Sedangkan, nilai Stabilitas dan *Marshall Quo* lebih rendah dibandingkan dengan perendaman 30 menit.

5.2 Saran

- 1) Keterbatasan-keterbatasan dalam penelitian ini seperti lingkup batas waktu, ruang lingkup pembahasan yang hanya membahas tentang lapis perkerasan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, sehingga penelitian ini masih perlu dikaji lebih lanjut. Oleh sebab itu, agar lebih mendalam disarankan perlunya penelitian dengan lapis perkerasan aspal yang lain.
- 2) Oleh karena dalam penelitian ini, penggunaan persen *slag* nikel yang memenuhi hanya 45%, sehingga disarankan perlu dilakukan penelitian dengan variasi nilai persentase lebih kecil untuk mendapatkan hasil yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Salwiah, 2008. *Penggunaan Slag Nikel Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campur Hot Rolled Sheet-Binder Course (HRS-BC)*. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Ali Hadi, 2011. *Karakteristik Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Penggunaan Abu Vulkanik dan Abu Batu Sebagai Filler*. Universitas Lampung Bandar Lampung.
- Arsyad, La Ode Muhammad Nurrakhmad, 2008. *Penggunaan Slag Nikel Sebagai*

- Pengganti Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Mekanis Pada Campuran Beton Aspal AC-BC.* Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Darta Suhendra. (2014). *Pengaruh Variasi Pada Proses Pencampuran terhadap Campuran Aspal Panas (Asphalt Hotmix).* Universitas Lampung.
- Kaseke Oscar H, Lintong Elisabeth. 2017. *Pengaruh Perubahan Rasio Antara Filler dengan Bitumen Efektif Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Laston Jenis Lapis Aus.* Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Mashuri, Listiana. (2013). *Pengaruh Penggunaan Kapur Padam Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Ketahanan Pengelupasan Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC).* Universitas Tadulako Palu.
- Pratomo, 1999. *Campuran Hot Rolled Sheet Dengan Berbagai Jenis Filler.* Prosiding Simposium I Studi Transportasi Perguruan Tinggi, ITB, Bandung Putrowijoyo
- Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987
- Sugiri, 2005. *Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dan Campuran Semen untuk Beton Mutu Tinggi.* Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan, Vol. 1 No. 1.
- Tahir Anas, 2009. *Karakteristik Campuran Beton Aspal AC-WC dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara.* Universitas Tadulako Palu.
- Vebby. 2011. *Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete (AC) dengan Bahan Pengisi (Filler) Abu Vulkanik Gunung Merapi.* Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Wayan, dkk, 2016. *Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dalam Beton.* Universitas Udayana Denpasar.
- Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi Tahun 2010 Revisi III
- SNI 03-1737-1989 : Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya
- SNI 1970:2008 : Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- SNI 1969:2008 : Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- SNI 2417:2008 : Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*
- ASTM D4791-99 : *Standard Test Methode for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*
- SNI 03-4428-1997 : Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastis dengan Cara Setara Pasir
- SNI 03-6877-2002 : Metode Pengujian Angularitas Agregat Halus
- SNI 2441:2011 : Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat
- SNI 06-2456-1991 : Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen.
- SNI 06-2432-1991 : Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal.
- SNI 06-2434-1991 : Metode Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal.
- SNI 06-2434-1991 : Metode Pengujian Titik Lembek Aspal.
- SNI 06-2440-1991 : Metode Pengujian Kehilangan Berat Aspal
- SNI 2438:2015 : Metode Pengujian Kelarutan Aspal