

Pemanfaatan Gondorukem Sebagai Bahan Substitusi ke dalam Aspal Pen 60/70 pada Campuran Aspal Porus

Asrarul Maula¹ Sofyan M. Saleh² Fitrika Mita Suryani³

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

^{2,3}Dosen, jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia.

email: asrarulmaula@gmail.com

Abstract

Asphalt is a material used as a binder on the road pavement. Porous asphalt is an asphalt mixture that has a little fine aggregate proportion to obtain high pore space. The pavement of porous asphalt has a coarse surface so the level of ruggedness is high to avoid slipping on the vehicle's wheels. Porous asphalt has low stability but it has a high permeability that is caused by a lot of space between aggregates. In this study, gondorukem is being used as a substitute for porous asphalt mixture to improve the stability value in pavement mixture. Gondorukem is the result of distillation of sap from *merkusii*'s pine tree which is solid in shape and has color range from light yellow to dark yellow. This study is aimed to know the effect of gondorukem substitute for 60/70 penetration asphalt to the characteristics of porous asphalt mixture based on Australian method such as Voids in Mix and Asphalt Flow Down (AFD) parameter. The production of this specimen is aimed to decide optimum asphalt content. The specimens were made using Australian method whose parameters were Cantabro Loss (CL) value, Asphalt Flow Down (AFD), and Voids In Mix (VIM). The open gradation of aggregates composition was used. The asphalt contents used were 4.5%; 5%; 5.5%; 6%; and 6.5% without gondorukem usage variation. Further testing and calculation of Marshall and AFD are to get optimum asphalt content. After optimum asphalt content is obtained, the test specimens are being made on optimum asphalt content with variation $\pm 0,5$ from KAO value with 2%, 4%, 6%, and 8% gondorugem usage. The maximum interest rate for stability is 554,81 kg; VIM value is 18.04%; and the value of AFD is 0.28%.

Keywords : Gondorukem, Aspal Pen 60/70, Porous asphalt, Australian method.

Abstrak

Aspal adalah material yang digunakan sebagai bahan pengikat pada pekerjaan perkerasan lentur jalan. Aspal porus merupakan campuran aspal dengan proporsi agregat halus yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi. Perkerasan aspal porus memiliki permukaan yang kasar sehingga tingkat kekesatannya pun tinggi untuk menghindari slip pada roda kendaraan. Aspal porus memiliki stabilitas yang rendah namun memiliki permeabilitas tinggi yang disebabkan oleh banyaknya rongga antar agregat. Pada penelitian ini digunakan gondorukem sebagai bahan substitusi pada campuran aspal porus untuk meningkatkan nilai stabilitas pada campuran perkerasan. Gondorukem merupakan hasil destilasi/ penyulingan getah dari pohon pinus *merkusii* yang berbentuk padat berwarna kuning jernih sampai kuning tua. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan gondorukem sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal porus, berdasarkan metode Australia yaitu dengan parameter nilai kadar rongga dalam campuran (Voids In Mix) dan Asphalt Flow Down (AFD). Pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan metode Australia, dengan parameter nilai Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD), dan Voids In Mix (VIM). Gradasi mengikuti gradasi terbuka dengan kadar aspal yang digunakan adalah 4,5 %; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5% tanpa variasi penggunaan gondorukem. Selanjutnya dilakukan pengujian dan perhitungan Marshall dan AFD untuk mendapatkan KAO. Setelah KAO diperoleh, dibuat benda uji pada KAO dan variasi $\pm 0,5$ dari nilai KAO dengan variasi penggunaan gondorukem sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8%. Pada kadar aspal optimum terbaik diperoleh nilai stabilitas sebesar 554,81 kg, nilai VIM sebesar 18,04%, dan nilai AFD sebesar 0,28%.

Kata kunci : Gondorukem, Aspal Pen 60/70, Aspal Porus, Metode Australia.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan Negara yang sedang berkembang, oleh karena itu pembangunan prasarana harus sangat diperhatikan. Selain itu Indonesia adalah Negara beriklim tropis dengan curah hujan yang tinggi sehingga genangan rentan terjadi. Agar dapat terwujudnya pelayanan lalu lintas yang nyaman dan aman, salah satu jenis alternatif yang dapat dikembangkan dan digunakan untuk menutup lapisan atas perkerasan jalan adalah aspal porus.

Aspal porus (*Porous Asphalt*) ialah campuran aspal yang memiliki banyak rongga atau bergradasi terbuka dengan jumlah agregat kasar lebih banyak dari pada agregat halus, hal ini menyebabkan besarnya rongga udara yang mengakibatkan permukaan lapisan perkerasan ini mudah teroksidasi dan terjadinya penurunan kemampuan aspal dalam mengikat agregat (stabilitas rendah). Hal ini dapat di tanggulangi dengan penggunaan berbagai macam bahan tambah. Salah satunya adalah gondorukem.

Gondorukem merupakan hasil penyulingan getah pohon pinus *merkusii* yang sangat efisien dalam

menyerap panas. Penambahan gondorukem ke dalam aspal pen 60/70 untuk memperkuat daya ikat antar agregat dan mengurangi kerusakan lapisan perkerasan yang disebabkan oleh perubahan cuaca.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pemanfaatan gondorukem sebagai bahan substitusi ke dalam aspal penetrasi 60/70 pada campuran aspal porus. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Austrialia dengan parameter utama nilai kadar rongga dalam campuran (*Voids In Mix*), *Asphalt Flow Down* (AFD) dan *Contabro loss* (CL).

Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa kadar aspal optimum (KAO) terbaik untuk campuran aspal porus adalah 5,56% dengan substitusi gondorukem 8%. Semua parameternya telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan *Australia Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004. Adapun perolehan nilai stabilitas terbaik adalah 554,81 kg, nilai kadar rongga dalam campuran (VIM) berkisar antara 8,71% – 19,14%, nilai *Marshall Quotient* (MQ) berkisar antara 91,55 kg/mm – 147,65 kg/mm, nilai *density* berkisar antara 2,06 gr/cm³–2,29 gr/m³, nilai *flow* berkisar antara 3,80 mm – 5,2 mm, nilai *Contabro loss* (CL) 20,66% dan nilai *Asphalt Flow Down* (AFD) didapat sebesar 0,28%.

2. Tinjauan Kepustakaan

2.1 Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)

Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) adalah organisasi non-profit yang dibentuk untuk memajukan penggunaan aspal secara ekonomis. Organisasi ini memastikan pencapaian kualitas yang optimum dalam penggunaan jangka panjang terhadap desain perkerasan yang fleksibel, konstruksi dan perawatan. AAPA bekerja sama dengan *Austroads Pavement Reference Group* dan memiliki program penelitian yang terkoordinasi serta saling melengkapi.

AAPA menyusun sebuah spesifikasi yaitu "*National Asphalt Specification*". Dalam penyusunannya berhubungan langsung dengan *Austroads Pavement Reference Group*, *New Zealand Pavement*, dan *Bitumen Contractors Association* (BCA). Tujuannya untuk memastikan keseragaman dalam penerapan penggunaannya di seluruh Australia.

Spesifikasi ini berlaku untuk komponen material, desain, pengerjaan, tingkat kepadatan gradasi aspal, aspal gradasi terbuka, aspal gradasi seragam, dll. [1]

2.2 Campuran Aspal Porus

Campuran aspal porus merupakan perkerasan lentur yang membolehkan air masuk ke dalam lapisan atas (*Wearing Course*) baik secara vertikal maupun horizontal. Campuran ini memiliki rongga yang disebabkan penggunaan agregat kasar lebih dominan dari pada agregat halus. Campuran aspal

porus harus dihampar dan dipadatkan diatas permukaan yang kedap air. Hal ini dilakukan agar Air yang meresap pada permukaan aspal porus dapat dialirkan ke drainase.

Adapun spesifikasi campuran aspal porus di sajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Aspal Porus[1]

| No | Kriteria Perencanaan | Nilai |
|----|--|-----------|
| 1. | Stabilitas <i>Marshall</i> (kg) | Min 500 |
| 2. | <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm) | Maks. 400 |
| 3. | Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %) | 18 – 25 |
| 4. | Kelelahan <i>Marshall</i> (mm) | 2 – 6 |
| 5. | Jumlah Tumbukan Perbidang | 50 |
| 6. | Uji <i>Asphalt flow down</i> (%) | Maks 0.3 |
| 7 | Uji <i>cantabro loss</i> (%) | Maks 35 |

2.3 Material Aspal Porus

2.3.1 Agregat

agregat merupakan kumpulan yang mineral seperti pasir, kerikil, dan batu yang di dapatkan dari hasil pemecahan batu yang berukuran besar. Permukaan agregat yang digunakan sebaiknya kasar, hal ini dikarenakan daya penguncian (*Interlocking*) akan lebih baik sehingga baik dan dapat meningkatkan stabilitas serta mempertahankan keawetan campuran. [2]

2.3.2 Aspal

Aspal merupakan material perekat (*Cementitious*) dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam ataupun dari hasil residu penggilingan minyak bumi. Karena unsur utama aspal adalah bitumen, bitumen juga sering di sebut sebagai aspal. Aspal bersifat *Termoplastis* sehingga bentuknya padat pada suhu ruangan dan menjadi cair apabila dipanaskan.[4]

Adapun persyaratan aspal penetrasi 60/70 yang digunakan untuk campuran dapat di lihat pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70[3]

| Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Persyaratan |
|--------------------------|------------------|-------------|
| Berat Jenis | SNI 06-2441:2011 | ≥ 1,0 |
| Titik Lembek (°C) | SNI 06-2434:2011 | ≥ 48 |
| Penetrasi, 25°C (0,1 mm) | SNI 06-2456-1991 | 60-70 |
| Daktilitas, 25°C (cm) | SNI 06-2432:2011 | ≥ 100 |

2.3.2 Gondorukem

Gondorukem (*Gum Rosin*) adalah hasil penyulingan getah pohon pinus *merkusii* dengan bentuk padat berwarna kuning jerih sampai kuning tua. Gondorukem dapat ditemukan di asar dengan harga yang sangat terjangkau. Gondorukem mengandung senyawa KOH (*Kalium Hidroksida*) yang merupakan senyawa anorganik basa kuat.

2.4 Gradasi Agregat

gradasi adalah distribusi besaran berdasarkan ukuran butir yang saling mengisi sehingga terjadinya sebuah ikatan yang saling mengunci (*Interlocking*). [2]

Berikut adalah tabel gradasi agregat yang digunakan pada campuran aspal porus dikutip dari AAPA (2004)

Tabel 3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus [1]

| Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang Lolos | |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| | Agregat Maks. 10 mm | Agregat Maks. 14 mm |
| 19,000 | 100 | 100 |
| 12,700 | 100 | 85 – 100 |
| 9,530 | 85 – 100 | 45 – 70 |
| 4,760 | 20 – 45 | 10 – 25 |
| 2,380 | 10 – 20 | 7 – 15 |
| 1,190 | 6 – 14 | 6 – 12 |
| 0,595 | 5 – 10 | 5 – 10 |
| 0,297 | 4 – 8 | 4 – 8 |
| 0,149 | 3 – 7 | 3 – 7 |
| 0,074 | 2 – 5 | 2 – 5 |
| Total | 100 | 100 |
| Kadar Aspal | 5,0 – 6,5 | 4,5 – 6,0 |

2.5 Sifat Fisis Agregat

Faktor penentu kemampuan perkerasan jalan dalam memikul beban adalah sifat fisis agregat. Oleh karena itu pemeriksaan sifat fisis agregat harus dilakukan dengan teliti sebelum digunakan sebagai campuran lapisan perkerasan jalan raya [4]. Adapun pemeriksaan sifat fisis agregat meliputi : pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, berat isi, keausan, keawetan, indeks kepipihan dan kelonjongan, serta pemeriksaan tumbukan.

2.6 Karakteristik Campuran Aspal Porus

Campuran aspal harus memenuhi segala persyaratan spesifikasi yang disyaratkan, sehingga menghasilkan campuran aspal yang dapat menahan beban lalu lintas dan kerusakan yang di sebabkan oleh pengaruh cuaca sesuai usia perencanaan^[4]. Adapun karakteristik yang harus dipenuhi oleh campuran aspal porus adalah: Stabilitas dan *Flow*, kepadatan (*Density*), rongga di dalam campuran (*Voids In Mixture*), *Marshall Quotient (MQ)*, keawetan (*Durability*) dan permeabilitas. Pada umumnya penggunaan aspal porus digunakan pada lokasi dengan curah hujan yang tinggi, pada

terowongan dan lain lain, agar air dengan mudah dialirkan ke drainase.

2.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pada penelitian ini Penentuan KAO menggunakan metode Australia. *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* hanya mensyaratkan tiga parameter dalam penentuan KAO yaitu *VIM*, *Cantabro Loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir) dan *Asphalt Flow Down* (aliran aspal ke bawah).

Penentuan KAO pada metode ini harus memenuhi spesifikasi berikut ini:

Tabel 4 Spesifikasi penentuan KAO [1].

| No | Spesifikasi | Syarat |
|----|---------------------------------|--------|
| 1. | Kadar Rongga (<i>VIM</i>) (%) | 18-25 |
| 2. | <i>Cantabro Loss</i> (%) | < 35 |
| 3. | <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | < 0,3 |

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Penelitian

Hal yang dilakukan pertama kali dalam penelitian ini adalah pengumpulan data, pengumpulan data berguna untuk megumpulkan data yang di perlukan dalam menunjang penelitian ini. Data yang dibutuhkan berupa data primer dan data sekunder. Data primer ialah data utama yang di dapatkan dari hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat, sifat-sifat fisis aspal, analisa saringan, pengujian *Marshall*, pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* dan penentuan kadar aspal optimum (KAO). Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Data sekunder adalah data pelengkap yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian, data ini dapat diperoleh dari berbagai literatur dan dari penelitian terdahulu. Adapun data sekunder yang digunakan ialah hasil pengujian *Contabro Loss*.

Setelah pengumpulan data selesai dilakukan, data tersebut kemudian diolah dan selanjutnya dianalisa.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah sebuah proses dimana data tersebut dikumpulkan dengan berbagai macam cara. Pada penelitian ini data dikumpulkan dengan melakukan pemeriksaan terhadap sifat fisis aspal dan agregat, membuat benda uji dengan dan tanpa penambahan gondorekum, melakukan pengujian *Marshall* dan *Asphalt Flow Down*.

3.2.1 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisis agregat yang dilakukan meliputi berat jenis dan penyerapan, berat isi, kekerasan, keausan, pelapukan, kelekatan terhadap aspal, indeks kepipihan dan kelonjongan.

Pemeriksaan sifat fisis agregat harus mengikuti prosedur pemeriksaan yang ditetapkan. Adapun referensi prosedurnya dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Sifat-sifat Fisis Agregat dan Prosedur Pemeriksaan

| No. | Sifat-sifat Fisis yang Diperiksa | Prosedur Pemeriksaan |
|-----|----------------------------------|----------------------|
| 1. | Kekerasan (<i>Impact</i>) | AASHTO T-27-74 |
| 2. | Penyerapan (Absorpsi) | AASHTO T-85-74 |
| 3. | Indeks kepipihan | ASTM D-4791 |
| 4. | Keausan (Abrasi) | AASHTO T-96-74 |
| 5. | Kelekatan terhadap aspal | AASHTO T-182-82 |
| 6. | Berat Jenis | AASHTO T-85-74 |
| 7. | Pelapukan | AASHTO T-104-77 |
| 8. | Indeks kelonjongan | ASTM D-4791 |

3.2.2 Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Aspal mempunyai peran penting terhadap campuran. Maka sebelum digunakan, aspal terlebih dahulu harus dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisisnya. Pada penelitian ini aspal yang digunakan ialah aspal penetrasi 60/70 yang di peroleh dari PT. Pertamina. Bahan tambah yang digunakan ialah gondorukem. Pemeriksaan sifat-sifat fisisnya meliputi penetrasi, berat jenis, titik lembek dan daktilitas.

Pemeriksaan Sifat-sifat fisis aspal keras penetrasi 60/70 dengan dan tanpa penggunaan gondorukem dan prosedur pemeriksaan disajikan pada Tabel 6 berikut:

Tabel. 6 Sifat fisis aspal keras penetrasi 60/70

| Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Type I Aspal Penetrasi 60/70 *) | Type II Aspal yang dimodifikasi Elastomer Sintetis **) |
|--------------------------|------------------|---------------------------------|--|
| Berat Jenis | SNI 06-2441:2011 | $\geq 1,0$ | $\geq 1,0$ |
| Daktilitas, 25°C (cm) | SNI 06-2432:2011 | ≥ 100 | ≥ 100 |
| Titik Lembek (°C) | SNI 06-2434:2011 | ≥ 48 | ≥ 54 |
| Penetrasi, 25°C (0,1 mm) | SNI 06-2456-1991 | 60-70 | Min 40 |

Catatan:

*) Aspal penetrasi 60/70 (tanpa penggunaan gondorukem)

**) Aspal yang dimodifikasi elastomer sintesis (menggunakan gondorukem)

3.2.3 Perencanaan campuran

Benda uji dibuat berdasarkan komposisi gradasi aspal porus yang disyaratkan oleh AAPA. Dengan menggunakan ukuran agregat maks. 14 mm pada kadar aspal 4,5% - 6% dari total berat campuran.

Pada penelitian ini variasi kadar aspal untuk pembuatan benda uji adalah 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran.

Setelah dilakukan pengujian terhadap agregat, dan aspal penetrasi 60/70 selanjutnya akan dibuat benda uji tanpa substitusi gondorukem (kelompok A) dan benda uji dengan substitusi gondorukem (kelompok B).

Adapun Rekapitulasi untuk keseluruhan jumlah benda uji disajikan pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7 Rekapitulasi untuk Keseluruhan Jumlah Benda Uji

| Kelompok Benda Uji | Kelompok Benda Uji Untuk Kelompok A dan Kelompok B | |
|--------------------|--|------------------------------------|
| | Pengujian <i>Marshall</i> | Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> |
| A | 15 | 15 |
| B | 36 | 36 |
| Total | 51 | 51 |
| Total Keseluruhan | 102 | |

3.2.4 Pengujian Marshall

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*Flow Plastic*) dari campuran aspal. Pengujian ini berpedoman pada AASHTO-245-74. Adapun alat yang digunakan untuk pengujian inii adalah alat uji Marshall lengkap dengan dial stabilitas dan *Flow*, bak perendaman (*Water Bath*), thermometer, jangka sorong, dan timbangan terbuka. Suhu pencampuran pada saat pembuatan benda uji adalah 160°C, selanjutnya pada suhu 150°C, benda uji dimasukkan ke dalam *Mold* lalu dipadatkan dengan jumlah tumbukan sebanyak 50 kali per bidang dengan menggunakan penumbuk *Marshall*. Kemudian benda uji disimpan selama 24 jam dan dilanjutkan dengan penimbangan di udara, didalam air dan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) untuk mendapatkan berat volume (*Density*) benda uji. Selanjutnya dilakukan perendaman benda uji dalam air dengan suhu 60°C selama 30 menit, lalu dilanjutkan dengan pengujian stabilitas dan *flow* dengan menggunakan alat uji *Marshall*.

Pengujian Marshall meliputi uji stabilitas, kelelahan plastis (*Flow*), berat isi (*Density*), VIM dan *Marshall Quotient*.

3.2.5 Pengujian Asphalt Flow Down

Pengujian *Asphalt Flow Down* dilakukan untuk mengetahui pencampuran kadar aspal yang homogen antara aspal dan agregat tanpa terjadi pemisahan yang signifikan. Hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) ke lokasi penghamparan tidak terjadi pemisahan aspal. Prosedur pengujian *Asphalt Flow*

Down yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) adalah sebagai berikut:

1. Cetakan berupa wadah yang berukuran 20x40 cm dilapisi dengan kertas aluminium foil, berat cetakan tersebut ditimbang dan dicatat (m1);
2. Kemudian campuran aspal porus dibuat seberat ± 1200 gr dan diratakan pada permukaan cetakan yang telah di lapisi oleh aluminium foil, ditimbang dan dicatat beratnya (m2);
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ selama ± 60 menit;
4. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan;
5. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil ditimbang dan dicatat (m3).

3.3 Pengolahan Data

pengolahan data adalah mengubah bentuk data yang telah terkumpul menjadi informasi. Dalam penelitian ini pengolahan dilakukan secara elektronik yaitu dengan komputer menggunakan *Software Microsoft Excel*. Setelah dilakukan pengolahan data maka selanjutnya dilakukan analisa data.

4. Hasil dan pembahasan

4.1 sifat-sifat fisis agregat

Data hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sifat-sifat fisis agregat batu pecah yang berasal dari mesin *Stone Crusher* berlokasi di Desa Indrapuri Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh akan disajikan dalam bentuk tabel. Pemeriksaan sifat fisis ini meliputi pemeriksaan berat jenis, penyerapan, berat isi, keausan, indeks kepipihan, indeks kelonjongan, pemeriksaan tumbukan dan kelekatan agregat terhadap aspal.

Hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 8 berikut :

Tabel 8 Hasil Pengujian Sifat Fisis Agregat

| Sifat-sifat Fisis yang Diperiksa | Hasil | Persyaratan Bina Marga |
|----------------------------------|--------|------------------------|
| Berat Jenis | 2,775 | Min. 2,5 |
| Penyerapan (%) | 1,119 | Maks. 3 |
| Berat Isi (kg/dm ³) | 1,656 | Min. 1 |
| Keausan (%) | 15,001 | Maks. 40 |
| Indeks Kepipihan (%) | 17,18 | Maks. 10 |
| Indeks Kelonjongan (%) | 15,80 | Maks. 10 |
| Tumbukan (%) | 8,940 | Maks. 30 |

sifat-sifat fisis agregat yang digunakan telah memenuhi syarat, kecuali nilai indeks kepipihan dan kelonjongan yang berada diatas 10% yaitu sebesar 17,18% dan 15,80% tetapi di dalam spesifikasi Dinas

Bina Marga 2006 uraian tentang agregat terdapat ketentuan yang menyatakan apabila terdapat ketidaksesuaian, nilai tersebut dapat ditolerir, apabila agregat tersebut memenuhi semua ketentuan lainnya, terutama hasil dari pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles* memenuhi syarat. Sehingga agregat ini dapat digunakan untuk campuran beton aspal.

4.2 Pengujian sifat-sifat fisis aspal

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal diperoleh setelah dilakukan pemeriksaan dari aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina yang dijadikan sebagai material pada penelitian ini. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis meliputi: pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek.

Dari hasil pemeriksaan memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 disajikan pada Tabel 9 berikut :

Tabel 9 Hasil Pengujian Sifat Fisis Aspal

| Sifat-sifat Fisis Aspal yang Diperiksa | Kadar Gondorukem | | | | | Spec. Pen 60-70 | Spec. Polimer | Satuan |
|--|------------------|-------|--------|--------|--------|-----------------|---------------|--------------------|
| | 0% | 2% | 4% | 6% | 8% | | | |
| Berat Jenis | 1,02 | 1,034 | 1,036 | 1,037 | 1,039 | $\geq 1,0$ | $\geq 1,0$ | - |
| Penetrasi | 64 | 59,56 | 58,33 | 56,22 | 52,11 | 60-70 | Min. 40 | (0.1 mm) |
| Daktilitas | 130 | 137 | 134,67 | 133,67 | 132,33 | ≥ 100 | ≥ 100 | cm |
| Titik Lembek | 48 | 54,5 | 56 | 56,5 | 57 | ≥ 48 | ≥ 54 | $^{\circ}\text{C}$ |

4.3 Hasil pengujian Marshall tanpa substitusi gondorukem untuk penentuan KAO

Nilai Stabilitas, *flow*, *density*, VIM, dan *Marshall Quotient*. Didapatkan dari hasil parameter Marshall. Hasil analisis pengujian Marshall, dengan gradasi terbuka pada variasi kadar aspal 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5% diperoleh nilai KAO sebesar 5,56%.

Setelah KAO diperoleh dilanjutkan dengan untuk membuat benda uji dengan substitusi gondorukem 4%, 6%, dan 8%. Untuk menentukan persentase gondorukem terbaik.

Marshall dengan variasi kadar aspal disajikan pada Tabel 10 berikut :

Tabel 10 Rekapitulasi hasil pengujian Marshall

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | | | Spesifikasi AAPA |
|----|--------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| | | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | |
| 1. | Stabilitas (kg) | 408,7 | 462,5 | 490,5 | 433 | 365,8 | Min. 500 |
| 2. | Flow Plastis (mm) | 3,4 | 4,6 | 4,8 | 4,3 | 3,7 | 2 - 6 |
| 3. | <i>MQ</i> (Kg) | 120,6 | 101,5 | 102,1 | 101,3 | 100 | Max. 400 |
| 4. | <i>Density</i> (gr/cm ³) | 1,95 | 1,99 | 2 | 2,1 | 2,1 | - |
| 5. | VIM (%) | 24,2 | 22 | 19,5 | 18,7 | 16,8 | 18-25 |

4.4 Pengujian CL dan AFD tanpa substitusi gondorukem untuk penentuan KAO

AFD merupakan salah satu parameter yang diperlukan. Pengujian AFD dilakukan secara langsung sedangkan hasil pengujian CL merupakan data sekunder

Rekapitulasi hasil untuk pengujian CL dan AFD pada variasi kadar aspal penetrasi. 60/70 tanpa substitusi gondorukem disajikan pada Tabel 11 berikut :

Tabel 11 Rekapitulasi hasil pengujian CL dan AFD

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | | | Spesifikasi AAPA (%) |
|----|--------------------------|-----------------|-------|------|-------|------|----------------------|
| | | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | |
| 1 | <i>Cantabro loss</i> | 28,14 | 21,16 | 18,5 | 14,15 | 11,1 | Maks 35 |
| 2 | <i>Asphalt Flow Down</i> | 0,14 | 0,21 | 0,24 | 0,27 | 0,37 | Maks 0,3 |

4.5 Analisa Regresi Parameter Marshall Dan AFD

Hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* dan *Asphalt Flow Down* dianalisa dengan analisa regresi. Analisa regresi yang digunakan yaitu analisa regresi yang sesuai dengan bentuk penyebaran data atau diagram pencar yang membentuk suatu garis lengkung atau lurus (*linear*). Dalam hal ini regresi non linier dianggap paling sesuai untuk penyebaran data pada penelitian ini. Pengolahan data analisa regresi parameter Marshall dan analisa regresi AFD pada penelitian ini menggunakan bantuan software *Microsoft excel* .

Dari hasil pengujian *Marshall* dan AFD dengan variasi kadar aspal tersebut kemudian diplot pada sumbu salib dengan koordinat kadar aspal (sumbu x) dan salah satu parameter *Marshall* dan AFD (sumbu y). Untuk mempermudah perhitungan analisa regresi tersebut, maka dilakukan dengan menggunakan software *Microsoft Excel*.

4.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). dimana menyebutkan penentuan KAO dengan metode ini hanya mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *Cantabro Loss* (CL) dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Adapun cara penentuan KAO menggunakan metode AAPA. Perencanaan kadar aspal dilakukan dengan menyesuaikan kadar aspal berdasarkan persyaratan VIM, *Cantabro Loss* (CL) dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM, *cantabro loss* (CL) dan *asphalt flow down* (AFD) diperoleh, maka nilai kadar aspal optimum berdasarkan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) yaitu sebesar 5,56%.

4.7 Hasil pengujian Marshall, dan AFD dengan substitusi gondorukem pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO

Setelah KAO didapatkan selanjutnya dibuat benda uji dengan substitusi gondorukem 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO dan $\pm 0,5$ KAO untuk mendapatkan persentase gondorukem terbaik.

Berikut hasil pengujian Marshall dan AFD :

Tabel 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Substitusi Gondorukem 2%

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | Spesifikasi AAPA (2004) |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------|--------|-------------------------|
| | | 5,06 | 5,56 | 6,06 | |
| 1. | Stabilitas (kg) | 487,42 | 518,32 | 475,96 | Min. 500 |
| 2. | <i>Flow</i> Plastis (mm) | 4,00 | 3,93 | 5,20 | 2 – 6 |
| 3. | <i>MQ</i> (Kg) | 122,12 | 133,48 | 91,55 | Maks. 400 |
| 4. | <i>VIM</i> (%) | 11,22 | 10,09 | 8,71 | 18 – 25 |
| 5. | <i>Density</i> (gr/cm ³) | 2,27 | 2,28 | 2,29 | - |
| 6. | <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | 0,19 | 0,22 | 0,25 | Maks. 0,3 |

Tabel 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Substitusi Gondorukem 4%

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | Spesifikasi AAPA (2004) |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------|--------|-------------------------|
| | | 5,06 | 5,56 | 6,06 | |
| 1. | Stabilitas (kg) | 465,16 | 529,20 | 525,72 | Min. 500 |
| 2. | <i>Flow</i> Plastis (mm) | 4,53 | 3,87 | 4,10 | 2 – 6 |
| 3. | <i>MQ</i> (Kg) | 102,76 | 137,58 | 130,63 | Maks. 400 |
| 4. | <i>VIM</i> (%) | 13,75 | 11,67 | 10,05 | 18 – 25 |
| 5. | <i>Density</i> (gr/cm ³) | 2,20 | 2,24 | 2,26 | - |
| 6. | <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | 0,22 | 0,26 | 0,28 | Maks. 0,3 |

Tabel 14 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Substitusi Gondorukem 6%

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | Spesifikasi AAPA (2004) |
|----|--------------------------------------|-----------------|--------|--------|-------------------------|
| | | 5,06 | 5,56 | 6,06 | |
| 1. | Stabilitas (kg) | 485,68 | 513,64 | 523,65 | Min. 500 |
| 2. | <i>Flow</i> Plastis (mm) | 4,57 | 3,90 | 4,03 | 2 – 6 |
| 3. | <i>MQ</i> (Kg) | 106,92 | 134,29 | 130,92 | Maks. 400 |
| 4. | <i>VIM</i> (%) | 15,00 | 13,20 | 11,02 | 18 – 25 |
| 5. | <i>Density</i> (gr/cm ³) | 2,17 | 2,20 | 2,24 | - |
| 6. | <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | 0,27 | 0,31 | 0,32 | Maks. 0,3 |

Tabel 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Substitusi Gondorukem 8%

| No | Karakteristik Campuran | Kadar Aspal (%) | | | Spesifikasi AAPA (2004) |
|----|-------------------------------|-----------------|--------|--------|-------------------------|
| | | 5,06 | 5,56 | 6,06 | |
| 1. | Stabilitas (kg) | 508,71 | 554,81 | 555,57 | Min. 500 |
| 2. | Flow Plastis (mm) | 4,47 | 3,93 | 3,80 | 2 – 6 |
| 3. | MQ (Kg) | 114,61 | 143,02 | 147,65 | Maks. 400 |
| 4. | VIM (%) | 19,14 | 18,04 | 15,24 | 18 – 25 |
| 5. | Density (gr/cm ³) | 2,06 | 2,08 | 2,13 | - |
| 6. | Asphalt Flow Down (%) | 508,71 | 554,81 | 555,57 | Maks. 0,3 |

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan hasil pengujian parameter Marshall, dan AFD diperoleh kadar aspal optimum (KAO) terbaik sebesar 5,56%, dengan substitusi 8% gondorukem, dimana semakin besar persentase gondorukem ke dalam aspal penetrasi 60/70, maka semakin meningkatkan nilai stabilitas, VIM, dan AFD. Nilai stabilitas diperoleh sebesar 554,81 kg pada KAO terbaik dengan nilai VIM sebesar 18,04% dan nilai AFD sebesar 2.8%. Serta nilai permeabilitas yang diperoleh sebesar 0,2212 cm/det dan nilai durabilitas sebesar 76,68%. Semua parameter sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004).

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi gondorukem di atas 8%. Gondorukem dalam penelitian ini disubstitusikan terhadap aspal pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan terhadap campuran

6. Daftar Kepustakaan

- [1] Anonim, 2004, *Open Graded asphalt Design Guide*, Australian Asphalt Pavement Association, Australia.
- [2] Bukhari, dkk, 2007, *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010, Revisi 3 (2014), *Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen PU, Jakarta.
- [4] Sukirman, S, 2003, *Campuran Beraspal Panas*, Penerbit Granit, Bandung.