BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pembangunan jalan yang dilaksanakan oleh pemerintah dewasa ini banyak sekali ragamnya, sesuai dengan perkembangan dan kemajuan teknologi transportasi.

Seiring dengan itu sejak tahun 1960-an di Jerman telah dikembangkan teknologi konstruksi jalan yaitu : SMA + S (Split Mastic Asphalt dengan bahan tambah serat selulosa), kini telah tumbuh dan berkembang menjadi teknologi konstruksi perkerasan jalan raya yang kemampuannya diakui pakar dan praktisi jalan raya hampir diseluruh dunia.

Di negara kita teknologi ini mulai diperkenalkan sekitar tahun 1980-an diharapkan mampu :

1. Meningkatkan keawetan lapis permukaan jalan.
2. Meningkatkan kekesatan lapis permukaan jalan.
3. Meningkatkan fleksibilitas lapis permukaan .
4. Meningkatkan ketahanan terhadap rutting.
5. Meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi.

Dengan meningkatnya kebutuhan material untuk pembangunan jalan. Salah satu bahan yang dipakai adalah agregat. Agregat ini terdiri dari agregat halus dan kasar pembagiannya berdasarkan dimensi/ukuran dari butiran. Salah satunya yang akan ditinjau adalah filler yang berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat.

Biasanya filler yang dipakai untuk campuran Split Mastic Asphalt adalah abu batu hasil samping dari produksi pemecah batu.

Karena kebutuhan filler yang makin bertambah maka perlu dicari bahan alternatif yang mungkin dapat dipakai sebagai filler. Oleh karena itu penulis mencoba melakukan penelitian pengaruh penggunaan limbah karbid pada campuran Split Mastic Asphalt.

Limbah karbid (kapur susu) merupakan hasil sampingan dari pemprosesan gas asitelin (acetylene), yang dipakai untuk pemotongan (cutting) dan pengelasan (wellding). Selama ini limbah karbid kurang banyak dimanfaatkan, sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Dengan kenyataan diatas, penulis akan memakai limbah karbid (kapur susu) sampai sejauh mana pengaruh penggunaannya pada campuran Split Mastic Asphalt terhadap pengerjaannya dan keawetannya.

1.2. Faedah Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat:

1. Mengetahui apakah limbah karbid (kapur susu) dapat dipakai sebagai filler pada campuran Split Mastic Asphalt.
2. Dapat memakai bahan buangan menjadi bahan yang potensial, khususnya untuk perkerasan lentur jalan raya.

1.3. Tujuan Penelitian

Mendapatkan lapisan penutup pada perkerasan lentur yang mudah untuk di hampar dan dipadatkan, serta memiliki ketahanan terhadap cuaca dan keausan akibat beban lalu lintas.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang dibentuk dari unsur-unsur asphaltenese, resins, oils. Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat.[1]

Aspal yang dipakai untuk konstruksi perkerasan jalan bersifat :[2]

1. Daya tahan (durability), yaitu kemampuan aspal mempertahankan sifat asal akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat campuran dengan aspal sifat agregat, faktor pelaksanaan.
2. Adhesi dan kohesi, adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga menghasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap pada tempatnya setelah terjadi ikatan.
3. Kepekaan terhadap temperatur, aspal adalah material yang termoplastis, sehingga akan jadi lebih keras jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair bila temperatur bertambah. Kepekaan terhadap temperatur dari setiap hasil produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama.

---

[1]Krebs and walker 1971
[2]Silvia sukirman 1992, hal. 66

4. Kekerasan aspal, pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah). Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat.

2.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, pasir atau mineral lainnya baik berupa agregat alam maupun dari hasil pengolahan. Pemilihan jenis agregat yang dipakai untuk konstruksi perkerasan jalan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya tekstur permukaan, porositas, kelekatan terhadap aspal dan kebersihannya.[3]

Secara umum agregat dapat diklasifikasikan menurut :[4]

1. Ditinjau dari asal kejadiannya.

Agregat dapat dibedakan menjadi batuan beku (iqneus rock), batuan sedimen atau batuan metamorf (batuan malihan).

a. **Batuan beku**, adalah batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Dibedakan atas batuan beku luar (extrusive iqneus rock) dan batuan beku dalam (intrusive iqneus rock). Batuan beku luar terbentuk dari material keluar saat terjadi gunung berapi meletus. Karena pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Biasanya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian dan lain-lainnya. Batuan beku dalam terbentuk karena magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan, bertektur kasar, dapat ditemui dipermukaan bumi karena proses erosi dan

[3]Krebs and Walker 1971
[4]Silvia Sukirman 1992, hal. 41

gerakan bumi. Batuan beku jenis ini diantaranya granit, gabro, diorit dan lain-lainnya.

b. **Batuan sedimen**, dapat berasal dari campuran partikel mineral sisa hewan dan tanaman. Biasanya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan lainnya. Batuan sedimen diantaranya breksi, batu pasir, batu gamping, gips, opal dan sebagainya.

c. **Batuan metamorf**, batuan ini berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan menjadi batuan metamorf yang masif seperti marmer, kuarsit dan batuan metamorf yang berlapis seperti batu sabak, filit, sekis .

2. Berdasarkan proses pengolahannya.

Agregat yang dipakai untuk perkerasan jalan dapat dibedakan atas agregat alam, agregat hasil proses pengolahan dan agregat buatan.

a. **Agregat alam**, adalah agregat yang dapat dipakai sebagaimana bentuknya di alam, atau dengan sedikit pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi . Aliran sungai membentuk partikel- partikel bulat-bulat dengan permukaan licin. Degradasi agregat dibukit-bukit membentuk partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Yang sering dipakai adalah pasir dan kerikil. Pasir adalah agregat dengan ukuran < ¼ inchi (6,35 mm) tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No 200), Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel > ¼ inchi. Berdasarkan tempat asalnya agregat alam dapat dibedakan atas pitrun yaitu agregat yang diambil dari tempat terbuka di alam dan bankrun yaitu yang berasal dari sungai/endapan sungai.

b. **Agregat hasil proses pengolahan**, di bukit-bukit atau digunung banyak di temui agregat yang masih berbentuk batu gunung, hingga perlu proses

pengolahan terlebih dulu sebelum dipakai. Di sungai sering juga di dapat agregat berbentuk besar-besar melebihi ukuran yang diperlukan. Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (crusher stone) supaya didapatkan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

c. **Agregat buatan,** adalah agregat yang diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu.

3. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat.

Agregat berdasarkan ukuran partikelnya dapat dibedakan :

1. Agregat kasar, agregat > 4,75 mm menurut ASTM atau > 2 mm menurut AASHTO.
2. Agregat halus, agregat < 4,75 mm menurut ASTM atau < 2 mm dan > 0,075 mm menurut AASHTO.
3. Mineral filler/debu batu, agregat halus yang umumnya lolos saringan No. 200.

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstuktsi perkerasan dapat dikelompokkan menjadi.[5]

1. Kekuatan dan keawetan (strength and durability) lapisan perkerasan, dipengaruhi oleh :
   a. Gradasi
   b. Ukuran maksimum
   c. Kadar lempung
   d. Kekerasan dan ketahanan
   e. Bentuk butir
   f. Tekstur permukaan

[5]Ibid hal. 44

2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh :
   a. Porositas
   b. Kemungkinan basah
   c. Jenis agregat
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh :
   a. Tahanan geser (skid resistance)
   b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

2.3. Filler

Filler adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran aspal. Didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0,74 mm), bisa berupa : debu dolomit, debu batu, debu kapur atau bahan lain dan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%).[6]

Pada awalnya pengaruh filler ke dalam campuran aspal adalah dengan membentuk mastik yaitu campuran aspal dan filler, sedang mastik biasanya mempengaruhi viskositas (kekentalan/kekakuan) aspal murni. Pengaruh filler adalah dalam adhesi, dalam hal ini menambah kekentalan aspal murni. Mekanisme pengaruh dari filler dalam mendukung adhesi antara aspal dan agregat adalah secara mekanik dan kimia.[7]

Pemakain filler dalam campuran aspal akan mempengaruhi karakteristik aspal dan dapat menyebabkan berbagai dampak, antara lain.[8]

---

[6]F.A Mujiono 1994
[7]Crauss I and Ishai. I dan sides A, 1977
[8]Witczak MW, 1975

1. Dampak pemakaian filler terhadap karakteristik campuran aspal. Hal ini dibedakan lagi menjadi :
   a. Dampak penggunaan filler terhadap viskositas campuran yang menyebabkan semakin besar penggunaan filler akan menaikkan viskositas campuran.
      - Adanya daya affinitas yang menyebabkan jumlah aspal yang di serap oleh filler cukup bervariasi. Pada keadaan viskositas naik, maka jumlah aspal yang di serap semakin besar.
      - Luas permukaan filler yang semakin besar menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang luas permukaannya kecil.
   b. Efek pemakaian filler terhadap duktilitas dan penetrasi campuran.
      - Kadar filler yang semakin tinggi akan menurunkan duktilitas, hal ini terjadi pada berbagai suhu.
      - Jenis filler yang menaikkan viskositas aspal, akan menurunkan penetrasi aspal.
   c. Efek suhu dan pemanasan
      - Jenis dan kadar filler akan memberikan pengaruh yang berbeda pada berbagai campuran.
2. Dampak pemakaian filler terhadap karakteristik campuran beton aspal, akan mempengaruhi dalam proses pencampuran penghamparan dan pemadatan. Di samping itu jenis kadar filler akan mempengaruhi sifat campuran dan sensivitasnya terhadap air.

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah karbid (kapur susu) merupakan sisa proses pembuatan gas asitilin (acetylene), berupa kapur kalsium tinggi, seperti kapur padam, limbah karbid termasuk bahan ikat hidrolik, namun kualitasnya tidak sebaik semen portland. Rumus kimia limbah karbid (kapur susu) sama dengan rumus kimia kapur padam yang sudah sering

dipakai, yaitu kapur padam yang berbentuk kawur (bulk) atau kapur padam jenangan (jladren/slurry) dengan rumus kimianya Ca $(OH)_2$.[9]

2.4. Split Mastic Asphalt

Split Mastic Asphalt adalah aspal beton yang terdiri atas campuran agregat, aspal dan bahan additive yang dicampur di AMP dalam keadaan panas yang mempunyai ciri khas sebagai berikut :[10]

1. Prosentase fraksi kasar yang tinggi (70 % s/d 80 %), memiliki kualitas yang baik dengan gradasi terbuka (open graded).
2. Kadar dan kekentalan dari aspal tinggi (6,2 % s/d 7,1 %), sehingga tebal film aspal cukup tinggi.
3. Memerlukan agregat filler.
4. Memerlukan bahan tambah untuk stabilisasi bitumen (aspal).

SMA mempunyai tiga tipe menurut ukurannya, yaitu :

1. SMA 0/11, adalah SMA dengan memakai ukuran agregat antara 0 mm sampai 11 mm yang biasanya untuk wearing course jalan baru.
2. SMA 0/8, adalah SMA dengan memakai ukuran agregat antara 0 mm sampai 8 mm biasanya dipakai untuk pelapisan ulang (overlay) pada jalan lama.
3. SMA 0/5, adalah SMA dengan memakai ukuran agregat antara 0 mm sampai 5 mm biasanya dipakai untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat, seperti perbaikan deformasi pada jalur roda (rutting) akibat konsentrasi muatan pada satu tempat.

Di negara kita, SMA 0/11 sudah dilaksanakan dan dikembangkan dengan spesifikasi teknisnya mengacu pada Ztv-bit STB 84 dan SKBI 1984. Di mana

---

[9] Departemen perindustrian SII 0029, 1973

[10] Modul PT. Sarana Raya Reka Cipta, 1992

campuran split mastik aspalnya mempunyai keawetan yang tinggi karena kadar aspalnya yang tinggi.[11]

2.5. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan dalam campuran aspal yang fungsinya untuk menstabilkan campuran aspal (perbaiki sifat aspal minyak), dan tidak termasuk bahan subtitusi.[12]

Modifikasi pembuatan bahan tambah biasanya dibuat dalam dua kelompok yaitu :[13]

1. Modifikasi sifat adhesi aspal dengan tensio-active additives (tegangan aktiv bahan tambah).
2. Modifikasi sifat adhesi permukaan agregat dengan cara mekanis memakai larutan air semen atau larutan kapur bakar.

Modifikasi yang pertama yang banyak dipakai dalam teknologi perkerasan jalan.

Bahan tambah yang dipakai ialah serat selulosa, dengan mengacu pada kelestarian lingkungan, alasan teknis dan ekonomis. Serat selulosa juga di kenal sebagai teknologi yang toleran terhadap deviasi pelaksanaan, memberikan skid resisten yang baik, serta menaikkan titik leleh aspal hingga pada akhirnya memberikan umur teknis yang lebih lama.

Untuk menghasilkan serat selulosa yaitu dengan cara ekstrasi agar didapatkan protein dan asam amino dari tumbuhan. Kemudian didestilasi (disuling) untuk mendapatkan protein dan asam amino murni, lalu diendapkan , diekstruksi

---

[11] Derektorak Jendral Bina Marga, 1993
[12] Moh. ali Khaerudin, 1993
[13] Crauss I and Ishai, 1977

dalam keadaan basa ke dalam larutan coagulating (penggumpal) untuk dijadikan serat selulosa.[14]

Mekanisme stabilisasi secara mikro terjadi melalui dua proses sebagai berikut :[15]

1. Absorsi aspal oleh serat selulosa

   Proses ini akan menyebabkan sifat-sifat kinetis (mobilitas) dari partikel-partikel aspal hingga meningkatkan integritas dari bulk aspal tanpa mengurangi sifat kelenturan dan adhesinya.

2. Jembatan hidrogen antara serat selulosa dengan aspal.

   Secara umum aspal terdiri dari tiga bahan susun yaitu, Asphaltenese, resine dan oils. Asphatlnese adalah pembentuk body, resine membangkitkan sifat adhesi dan lentur sedang oils bertanggung jawab atas sifat viskositas dan flow. Selulosa bersifat semipolar (lebih kuat dari resin), sehingga mampu menyerap (ikatan hidrogen) fraksi-fraksi resin tersebut hingga mampu memperlambat proses oksidasi dan polymerisasi.

2.6. Workabilitas

Workabilitas dalam pelaksanaan suatu campuran aspal adalah kemudahan suatu campuran jika di hampar dan dipadatkan, kepadatan didapatkan hasil yang memenuhi prosentrasi derajat kepadatan dan tebal kepadatan yang diharapkan. Sifat mudah dikerjakan paling tidak mencakup:[16]

1. Spreadability

   Berkaitan dengan kemudahan/kemampuan campuran untuk dihampar.

2. Compactability

---

[14] Lisminto dan Moh. As'ad, 1993
[15] Moh. ali Khaerudin, 1993
[16] Heukelom, 1965

Kemampuan dari mutu campuran aspal dalam proses pemadatan.

Faktor kepadatan (prosentasi kepadatan) dan tebal penghamparan di dapat dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Faktor kepadatan} = \frac{\text{Volume setelah 5 kali tumbukan}}{\text{Volume setelah 150 kali tumbukan}} \times 100\ \%$$

2.7. Durabilitas

Durabilitas adalah ketahanan lapis keras terhadap pengaruh cuaca dan keausan akibat beban lalu lintas. Pada umumnya durabilitas yang baik untuk campuran perkerasan dilaksanakan dengan memberi kadar aspal yang tinggi, gradasi batuan yang rapat air serta kekerasan dari batuan penyusunnya.[17]

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :[18]

1. Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal yang berdurabilitas tinggi, tapi kemungkinan terjadinya bleeding menjadi tinggi.
2. Rongga antar campuran (VIM) kecil sehinga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh/getas.
3. Rongga antar butiran agregat (VMA) besar hingga film aspal dapat dibuat tebal.

---

[17] Heukelom, 1965

[18] Silvia Sukirman, 1992

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan berfungsi mendukung beban lalu lintas secara aman dan nyaman, selanjutnya beban diteruskan ke tanah dasar, sehingga tidak menimbulkan tekanan yang melampaui daya dukung tanahnya. Pada umumnya perkerasan terdiri atas beberapa lapis, dengan kualitas bahan makin ke atas makin baik.

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat di-bedakan atas :

1. Perkerasan lentur (flexible pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
2. Perkerasan kaku (rigid pavement), yaitu perkerasan yang memakai semen (portland cement) sebagai bahan pengikatnya.
3. Perkerasan komposit (composite pavement), yaitu merupakan gabungan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Sampai saat ini perkerasan lentur masih menjadi pilihan utama untuk digunakan, sebab dirasa lebih menguntungkan di banding dengan jenis perkerasan lainnya. Dalam uraian selanjutnya yang akan dibahas mengenai perkerasan lentur.

Konstruksi perkerasan lentur yang di gelar di atas tanah dasar (subgrade) dengan bagian-bagiannya adalah lapis pondasi bawah (sub base course), lapis pondasi atas (base course) dan lapis permukaan (surface course).

Fungsi lapis perkerasan untuk tiap-tiap lapisan akan berbeda dan dapat dibedakan menjadi :

1. Lapis permukaan (surface course) meliputi :
   a. Struktural yaitu ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan, baik vertikal, maupun gaya horizontal/geser untuk itu persyaratan yang harus dipenuhi adalah kuat (mampu memikul beban), kaku (lendutan kecil) dan stabil.
   b. Nonstruktural, berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air yang membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefiseien gesek yang cukup untuk menjamin tersedianya keamanan bagi lalu lintas.
2. Lapis pondasi atas (base course) yaitu :
   a. Sebagai lapis pendukung bagi lapis permukaan.
   b. Sebagai lapis peresapan bagi lapis pondasi bawah.
3. Lapis pondasi bawah (sub base course) yaitu :
   a. Menyebarkan beban roda kendaraan.
   b. Sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul dipondasi.
   c. Mengurangi tebal lapisan diatasnya yang lebih mahal.
   d. Sebagai lapis pertama untuk perkerasan, karena biasanya tanah dasar daya dukungnya lemah untuk menahan alat berat.
4. Lapis tanah dasar (subgrade) yaitu :

   Baik yang berupatanah asli, timbunan galian yang telah dipadatkan adalah untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap campuran agregat, aspal dan bahan tambah yang ditujukan untuk lapis permukaan (surface course).

Tujuan umum dari rencana perkerasan dengan bahan ikat aspal adalah menetapkan penggabungan gradasi agregat dan aspal yang ekonomis yang akan menghasilkan campuran dengan :

a. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
b. Stabilitas yang memadai hingga mampu mendukung beban lalu lintas.
c. Rongga yang memadai akan total campuran padat hingga masih memungkinkan adanya tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas tanpa terjadi bleeding dan hilangnya stabilitas, tapi cukup rendah untuk mencegah masuknya udara dan kelembaban.

3.2. Bahan penyusunan perkerasan

Bahan penyusun utama konstruksi perkerasan lentur jalan untuk tipe split mastic asphalt adalah agregat, aspal dan bahan additive. Untuk menghasilkan perkerasan yang berkualitas tinggi, maka bahan tersebut harus berkualitas tinggi pula dan mencukupi persyaratan yang diijinkan. Supaya maksud tersebut dapat terpenuhi maka pemahaman tentang sifat-sifat dan karakteristik masing-masing bahan penyusun perkerasan harus di pahami benar.

3.2.1. Agregat

Adapun persyaratan mutu agregat yang dipakai sesuai dengan tabel 3.1. di bawah ini :

Tabel 3.1. Persyaratan mutu agregat

No	Uraian	SMA
1	Kehilangan berat akibat abrasi mesin Los Angeles (PB.0206-76)	40% maksimum
2	Kelekatan agregat terhadap aspal (PB.0205-76)	95% maksimum
3	Non Plastis	ya

Sumber Data Sekunder Proyek Peningkatan Jalan Penggantian Jembatan Propinsi Jawa Tengah Dit. Jen. Bina Marga DPU.

Gradasi agregat ditentukan oleh lolos atau tertahannnya agregat pada satu set saringan. Satu set saringan dimulai dari pan diakhiri dengan tutup.

Gradasi dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu :

a. **Gradasi rapat (well graded)**, kandungan agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, hingga dapat mengurangi rongga udara dalam campuran. Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, berat volume kecil.

b. **Gradasi seragam (uniform graded)**, yaitu agregat yang dalam ukuran butirnya mengandung butiran yang ukurannya hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga dapat mengakibatkan timbulnya rongga dalam campuran. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, berat volume kecil, stabilitas kurang.

c. **Gradasi celah (gap graded)**, yaitu gradasi dalam distribusi ukuran butirannya mempunyai kelebihan atau kekurangan salah satu butiran dengan ukuran tertentu (tidak menerus).

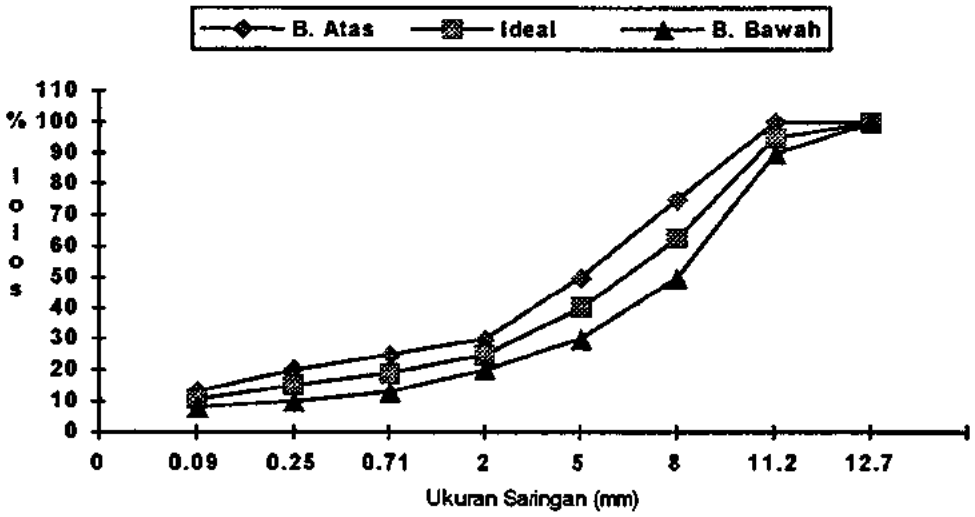
Pada gambar 3.2 (lampiran 8.b) terlihat bahwa well graded grafiknya relatif datar, uniform tampak curam sedangkan grafik gap graded kelengkungannya tidak teratur (ada perubahan mendadak).

Adapun gradasi agregat split mastic asphalt dengan bahan tambah serat selulosa adalah gradasi seragam (uniform graded) dengan prosentasi agregat kasar (ukuran > 2 mm) yang tinggi yaitu ≥ 70 %, hasil ini menurut spesifikasi Bina Marga. Adapun gradasi agregat yang dipakai sesuai dengan tabel 3.2. dan gambar 3.1. dibawah ini.

Tabel 3.2. Gradasi agregat split mastic asphalt dengan bahan tambah serat selulosa menurut Bina Marga.

Ukuran saringan	Lolos saringan	Ideal
12.7	100	100
11.2	90 - 100	95
8.0	50 - 75	62.5
5.0	30 - 50	40
2.0	20 - 30	25
0.71	13 - 25	19
0.25	10 - 20	15
0.09	8 - 13	10.5

Sumber Data Sekunder Proyek peningkatan jalan penggantian Jembatan Propinsi Jawa Tengah. Dit. Jend. Bina Marga DPU.



Gambar 3.1. Grafik analisa gradasi campuran split mastic asphalt.

3.2.2. Aspal

Aspal merupakan bahan padat atau semi padat yang tersusun dari bitumen dan mineral. Aspal yang dipakai adalah aspal keras (asphlat cement). Pen 60-70 yang memenuhi ketentuan SNI No. 1737.1989-F. Dengan tabel seperti terlihat di bawah ini :

Tabel 3.3. Persyaratan AC Pen 60-70 (SNI No 1737.1989-F).

No	Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Syarat Min	Syarat Maks	Satuan
1	Penetrasi (25° C, 5 detik)	PA.0301-76	60	70	0,1 mm
2.	Titik Lembek (Ring and Ball)	PA.0302-76	48	58	° C
3.	Titik Nyala	PA.0303-76	200	-	° C
4.	Kehilangan Berat (163° C, 5 jam)	PA.0304-76	-	0,8	% berat
5.	Kelarutan CCL_4	PA.0305-76	99	-	% Berat
6.	Daktilitas (25° C, 5 cm/menit)	PA.0306-76	100	-	cm
7.	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	PA.0301-76	54	-	% Berat
8.	Daktilitas setelah kehilangan Berat	PA.0306-76	50	-	cm
9.	Berat jenis (25° C)	PA.0307-76	1	-	gram/cc

Sumber Data Sekunder Proyek peningkatan jalan dan penggatian jembatan Propinsi Jawa Tengah Dit. Bina Marga. DPU.

Sifat-sifat aspal yang banyak pengaruhnya terhadap perilaku lapis keras jalan adalah sifat termoplastik dan keawetan.

a. Sifat "Thermoplastik".

Konsistensi "viskositas" aspal yang berubah-ubah dengan berubahnya suhu, pada suhu yang tinggi konsistensi rendah, aspal akan dapat menyelimuti batuan dengan baik dan rata. Tapi bila pemanasannya berlebihan akan membuat molekul-molekul yang ringan menguap, sehingga bisa merusak sifat aspal yaitu aspal cepat

mengeras. Sebaliknya dengan pemanasan yang kurang konsistensi aspal tinggi aspal tidak dapat menyelimuti batuan secara merata, sehingga daya ikatnya dengan batuan jadi kurang dan akan mengurangi kekuatan lapis keras dalam mendukung beban.

b. Sifat keawetan.

Sifat keawetan "durability", maksudnya adalah daya tahan aspal untuk mempertahankan sifat aslinya terhadap perubahan yang disebabkan pada waktu proses pelaksanaan konstruksi, pengaruh cuaca maupun beban lain. Sifat keawetan yang utama adalah daya tahannya terhadap proses pengerasan sesuai dengan jalannya waktu. Faktor-faktor yang menyebabkan aspal menjadi keras yang sesuai dengan jalannya waktu, yaitu :

1) Oksidasi, adalah reaksi antara oksigen dengan aspal. Proses ini tergantung dari keadaan temperatur dan sifat aspal, akibat proses oksidasi inilah yang mengakibatkan kadar aspal dalam konstruksi lapis keras jalan terus berkurang.
2) Penguapan "volatilization" adalah menguapnya bagian-bagian aspal yang mempunyai berat molekul ringan karena pengaruh penambahan temperatur pada saat pelaksanaan konstruksi. Untuk mengatasi hal ini maka pemanasan aspal harus di bawah titik nyala, serta proses pencampuran tidak terlalu lama.
3) "Polymerization" adalah terjadinya penggabungan dari molekul-molekul yang sejenis untuk membentuk melekul yang lebih besar lagi. Menurut penelitian didapatkan bahwa "resine" adalah bagian yang labil, baik menjadi "asphaltenese" maupun "oils". Sifat polymerisasi ini menyebabkan aspal menjadi keras dan mudah mengalami retak-retak.

4) "Separations" adalah menunjukkan adanya pemisahan dari "resins", "oils" atau "asphaltenese" dari aspalnya. Hal ini dapat terjadi pada waktu proses pencampuran agregat dan aspal, yaitu agregatnya menyerap selektif terhadap aspalnya. Jadi bila yang di serap "resins" atau "oils" aspal yang tertinggal akan mengeras, sebaliknya apabila yang di serap "asphaltenese" aspal akan bertambah lunak.
5) "Synerisis" adalah istilah yang menunjukkan adanya kenampakan noda-noda pada permukaan aspal. Noda ini timbul karena terjadi pembentukan baru dalam aspal. Struktur yang baru ini biasanya mempunyai berat melekul yang besar dan bagian ini menyebabkan aspal yang dipermukaan menjadi keras.

3.2.3. "Filler"

Dalam campuran aspal dengan gradasi terbuka dibutuhkan dengan adanya tambahan material lolos saringan nomor 200 (0,074) yang disebut "filler". Yang dapat dipakai sebagai "filler" adalah : debu batu, kapur, semen. Dalam penelitian ini di pakai limbah karbid "kapur susu". Dengan persyaratan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%).

Tabel 3.4 Gradasi Material Filler (SNI N0. 1737/1989/F jo SKBI-2.420/1987)

Ukuran Saringan	Filler % Lolos Saringan
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 - 100
N0. 100 (0,149 mm)	90 - 100
No. 200 (0,074 mm)	65 - 100

Sumber data Sekunder Proyek peningkatan jalan dan penggantian Jembatan Propinsi Jawa Tengah Dit Jend. Bina Marga. DPU.

3.2.4. Bahan Tambah "Additive"

Bahan tambah di dalam campuran SMA adalah serat selulosa "cellulose fibre" dengan kadar berkisar antara 0,20 % - 0,30 % terhadap berat campuran. Persyaratan menurut Bina Marga yang harus dipenuhi untuk serat selulosa agar dapat dipakai sebagai bahan tambah pada SMA campuran panas, adalah :

a. Mudah terdistribusi secara merata dalam campuran panas pada temperatur 160° C - 170° C.
b. Dapat dipisahkan atau diektraksi kembali dari aspal campuran panas.
c. Tahan terhadap temperatur aspal campuran panas sampai dengan suhu 250° C minimal selama waktu pencampuran.
d. Dengan kadar 0,3 % terhadap berat SMA campuran panas dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap temperatur atau titik lembek.

Serat selulosa yang di pakai pada penelitian ini adalah jenis CF-31500 (Custom Fibre-31500). Dengan hasil pengujian lengkap sebagai berikut :

Tabel 3.5. Hasil Pengujian Serat selulosa CF-31500

No.	Macam Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Persyaratan
1.	Warna	-	abu-abu	-
2.	pH	-	7,5	7,5 ± 1
3.	Kadar air	%	4,0	< 6,0
4.	Kadar organik	%	85,0	> 75,0
5.	Berat isi gembur	gram/l	30,0	> 25,0
6.	Panjang serat	mikron	< 5000,0	maks. 5000
7.	Ketahanan akan asam dan alkali	-	baik	baik
8.	Ketahanan suhu hingga 200 ° C	-	baik	baik
9.	Distribusi dalam campuran kering suhu 170 ° C	-	merata	merata
10.	Hasil ekstraksi	%	100,00	100,00
11.	Titik lembek aspal pen 60/70 + serat selulosa 97 % aspal + 3% Serat Selulosa	° C	57,8	> 55,0

Sumber Data Sekunder Depertemen Pekerjaan Umum Litbang, PU, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan.

3.3. Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt dengan Bahan tambah serat selulosa (SMA + S).

Karakteristik campuran dari lapis perkerasan tidak bisa dipisahkan dari pengertian yang baik dari sifat bahan penyusunnya. Khususnya perilaku aspal apabila telah berada dalam campuran split mastic asphalt, sehingga akan diperoleh lapis perkerasan yang kuat, awet, aman dan nyaman untuk melayani lalu lintas. Karakteristik campuran serat selulosa dimiliki oleh split mastic asphalt dengan bahan tambah serat selulosa adalah :

1. **Stabilitas**, adalah kemampuan lapis perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Stabilitas banyak tergantung pada kohesi, gesekan dan inersia. Gaya gesek itu sendiri tergantung pada tekstur permukaan, bentuk batuan, gradasi batuan, kerapatan campuran dan kualitas aspal. Hal ini kemudian dikombinasikan dengan gesekan dan kemampuan saling mengunci dari agregat dalam campuran. Adesi merupakan daya lekat dari masing-masing partikel bahan perkerasan dengan aspal. Kohesi batuan akan tercermin lewat kekerasannya sedang kohesi campuran tergantung dari gradasi agregat, daya adhesi aspal dan sifat bantu bahan tambah. Inersia merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan perpindahan tempat "resistence to displacement" yang bisa terjadi akibat dari beban lalu lintas. Kestabillan yang terlalu tinggi menyebabkan perkerasan akan kaku dan cepat mengalami retak, karena volume antar agregat kurang dan menyebabkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah.
2. **Keawetan "Durability"** adalah ketahanan lapis keras terhadap keausan akibat gesekan kendaraan, pengaruh cuaca dan air. Sifat aspal dapat berubah karena oksidasi dan perubahan campuran terhadap air. Untuk mendapat daya tahan yang tinggi pada suatu campuran perkerasan dapat dilaksanakan

dengan memberikan kadar aspal yang tinggi, gradasi agregat yang baik. Dengan hal itu dapat dikatakan bahwa dengan kadar aspal tinggi maka akan bertambah lapisan aspal yang melindungi butir-butir batuan dalam campuran. Makin tebal perlindungannya, perkerasan akan menjadi lebih tahan lama. Selain itu dengan kadar aspal yang tinggi, rongga udara yang ada dalam campuran dapat terisi oleh aspal sehingga kerapatan campuran dapat mencapai optimum. Untuk meredam pengausan permukaan lapis keras akibat beban, dapat dipergunakan agregat dengan kekerasan yang tinggi. Sebab pengausan dapat menyebabkan kerusakan berupa terlepas/tergesernya batuan sehingga menimbulkan cekungan yang dapat menampung dan meresapkan air.

3. **Kelenturan "fleksibilitas"** adalah kemampuan lapis keras untuk menyesuaikan terhadap perubahan bentuk yang terjadi dibawahnya tanpa mengalami retak-retak "cracking", sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam merencanakannya dipakai optimumnya, sebab dengan memaksimumkan sifat yang satu berarti meminimalkan sifat lainnya. Biasanya penurunan perkerasaan tidak terjadi secara merata. Dengan demikian perkerasan harus memiliki sifat fleksibilitas, untuk mendapatkannya yaitu dengan menambah kadar aspal yang tinggi dan memakai gradasi yang terbuka "open graded".
4. **Ketahanan kelelehan "Fatique resistance"** adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelehan yang berupa alur "rutting" dan retak. Sifat ini dipengaruhi oleh rongga udara dan viskositas aspalnya.
5. **Tahanan geser "skid resistance"** adalah kemampuan lapis permukaan pada lapis perkerasan untuk mencegah terjadinya selip dan tergelincirnya roda

kendaraan. Untuk mendapatkan tahanan gesek yang tinggi hampir sama dengan stabilitas. Penggunaan aspal optimum dan agregat kasar akan membentuk lapisan permukaan yang kasar. Faktor yang tidak boleh diabaikan adalah rongga udara yang cukup dalam campuran perkerasan yang apabila terjadi suhu panas udara cukup tinggi maka aspal tidak terdesak keluar "bleeding" melainkan mengisi rongga yang terdapat dalam campuran, sehingga lapis permukaan perkerasan tidak menjadi licin.

6. **Kedap air "Impermeability"** adalah sifat kedap air dan udara yang dimiliki perkerasan (campuran), ialah kemampuan untuk mencegah masuknya air dan udara ke dalam campuran. Hal ini erat kaitannya dengan jumlah rongga dalam campuran.
7. **Kemudahan pekerjaan "workability"** adalah mudahnya suatu campuran untuk di hampar dan dipadatkan sehingga diperoleh kepadatan yang diharapkan.

3.4. Syarat-syarat kekuatan/struktural

Konstruksi perkerasan jalan di pandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, haruslah memenuhi syarat-syaratt sebagai berikut :

a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban/muatan lalu lintas ke tanah dasar.
b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap kelapisan dibawahnya.
c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya dapat cepat dialirkan.
d. Kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Untuk dapat memenuhi syarat tersebut diatas, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi lentur jalan harus mencakup :

a. Perencanaan tebal masing-masing lapisan perkerasan.
b. Mutu dan jumlah bahan setempat yang memenuhi spesifikasi dari jenis lapisan yang dipilih.
c. Pengawasan pelaksanaan yang cermat mulai dari tahap penyiapan lokasi dan material sampai tahap pencampuran, penghamparan dan akhirnya pada tahap pemadatan dan pemeliharaan yang terencana.

3.5. SMA (Split Mastic Asphalt)

3.5.1. Pengertian Umum.

Split mastic asphalt adalah beton aspal yang terdiri dari campuran agregat, aspal dan bahan tambah. Dimana dari 3 jenis split mastic asphalt yang ada, yaitu SMA 0/11, SMA 0/8 dan SMA 0/5, yang sering dipergunakan di Indonesia adalah SMA 0/11.

Dalam penelitian yang dipakai adalah SMA (Split Mastic Asphalt) jenis 0/11.

3.5.2. Spesifikasi Teknik (Bina Marga).

Karakteristik dari split mastic asphalt adalah :

1. Agregat kasar dengan ukuran > 2 mm dengan jumlah fraksi tinggi, antara : 70 % - 80 % dari berat campuran.
2. Mastik aspal, dimana campuran agregat halus filler, aspal dan bahan tambah akan membentuk lapisan film yang tebal.
3. Memakai bahan tambah berupa serat selulosa yang berfungsi memperbaiki sifat-sifat aspal.

3.5.3. Sifat-sifat SMA (split mastic asphalt).

Split mastic asphalt memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Mampu melayani lalu lintas berat.
   a. Stabilitas marshall : > 750 Kg
   b. Flow marshall : 2 - 4 mm
2. Tahan terhadap oksidasi :
   Lapisan film tebal : > 10 mili μ
3. Tahan terhadap deformasi permanen di suhu tinggi:
   Nilai stabilitas dinamis : > 1500 lintasan/mm.
4. Kelenturan.
   Perbandingan marshal (stabilitas/flow) : 190 - 300 Kg/mm.
5. Kedap air
   a. Rongga udara : 3 - 5 %
   b. Indeks perendaman : > 75 % (60° C, 48 jam)
6. Tahan terhadap cuaca panas (temperatur tinggi)
   Titik lembek (aspal + serat selulosa) : > 60 ° C
7. Aman untuk lalu lintas (kesat) :
   Nilai kekesatan : > 0,6
8. Tingkat keseragaman campuran yang tinggi :
   a. Kadar agregat kasar : tinggi
   b. Kekentalan/viskositas aspal : tinggi

BAB IV
HIPOTESIS

Split Mastic Asphalt merupakan salah satu jenis campuran untuk lapis permukaan konstruksi jalan yang tersusun dari agregat, aspal dan serat selulosa.

Agregat yang digunakan untuk campuran "Split Mastic Asphalt" tersusun dari beberapa fraksi agregat salah satunya adalah "filler", dimana "filler" adalah agregat yang lolos saringan no.200.

Limbah karbid adalah partikel yang sangat halus, dan lolos saringan no. 200 dihipotesiskan dapat digunakan sebagai "filler" dalam campuran "Split Mastic Asphalt" yang memenuhi persyaratan yang ada.

BAB V
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang digunakan melalui beberapa tahap mulai dari persiapan, pemeriksaan mutu bahan/material yang berupa agregat, aspal dan serat selulosa, perencanaan campuran sampai tahap pelaksanaan pengujian dengan metode marshall.

5.1. Bahan

5.1.1. Asal Bahan

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini agregat, aspal dan serat selulosa. Agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo, diperoleh dari hasil produksi pemecah batu "stone crusher" milik PT. Perwita Karya Yogyakarta. Aspal yang dipakai adalah jenis AC 60-70 produksi Pertamina dan serat selulosa sebagai bahan tambah adalah jenis CF - 31500 "custom fibre 31500" juga diperoleh dari PT. Perwira Karya Yogyakarta. Sedangkan agregat pengisi "filler" yang berupa limbah karbid diperoleh dari PT. Iga Murni Sejahtera Yogyakarta.

5.1.2. Persyaratan dan Pengujian Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, sebelumnya diuji di-laboratorium untuk mendapatkan bahan penelitian yang memenuhi spesifikasi. Adapun yang dilakukan sebelumnya meliputi:

1. Pemeriksaan agregat.

Adapun untuk mengetahui kualitas agregat dilakukan pemeriksaan sebagai berikut :

a). Tingkat keausan, ketahanan agregat terhadap penghacuran "degradasi" diperiksa dengan percobaan abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles berdasarkan PB. 0206-76. Nilai abrasi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antar partikel dan bola-bola baja. Nilai abrasi > 40 % menunjukkan agregat tidak mempunyai kelekatan yang cukup untuk dipakai sebagai bahan/material lapis perkerasan.

b). Berat jenis "spesific gravity", adalah perbandingan antara berat agregat dengan volume air. Besarnya berat jenis agregat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal, sebab biasanya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan juga untuk menentukan banyaknya pori. Pemeriksaan berat jenis ditentukan berdasarkan PB-0202-76 dengan persyaratan minimum 2,5 gr/cc.

c). Peresapan agregat terhadap air, dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang terserap oleh agregat. Besarnya peresapan agregat yang diijinkan mempunyai nilai maksimum 3 %. Air yang telah terserap oleh agregat sukar untuk dihilangkan walaupun dengan proses pengeringan, sehingga mempengaruhi daya lekat, sehingga mempengaruhi daya lekat aspal terhadap agregat.

d). Daya lekat terhadap aspal dilakukan sesuai dengan prosedur PB-0205-76. Kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dengan persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan dan nilainya minimal 95 %.

e). Sand Equivalent Test, dilakukan untuk mengetahui kadar debu/lumpur atau bahan yang menyerupai lempung pada agregat halus. Sand equivalant test dilakukan untuk agregat yang lolos saringan No 4 sesuai prosedur PB-0203-76. Adanya lempung dapat mempengaruhi mutu campuran agregat dan aspal, sebab lempung membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dengan aspal berkurang. Juga adanya lempung mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah. Nilai Sand Equivalent Test minimum 50 %.

2. Pemeriksaan aspal "Bitumen".

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa dilaboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan.

Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut :

a). Pemeriksaan penetrasi, pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Prosedur pemeriksaan mengikuti PA- 0301-76, yaitu dengan memasukkan jarum ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Besarnya penetrasi untuk aspal AC 60 - 70 adalah antara 60 sampai 79.

b). Pemeriksaan titik lembek "softening point test" pemeriksaan ini dikerjakan untuk mengetahui temperatur pada serat aspal mulai menjadi lunak karena tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun nilai penetrasinya sama. Pemeriksaan mengikuti PA-0302-76 dengan nilai berkisar 30° C sampai 200° C. Pemeriksaan menggunakan cincin kuningan, dan bola baja dengan diameter 9,53 mm seberat 3,5 gram. Titik lembek ialah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin ialah diletakkan horizontal di dalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek

karena beban bola baja yang diletakkan diatasnya sehingga lapisan aspal tersebut jatuh pada ketinggian 25,4 mm / "1 inchi" dari pelat dasar.

c). Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar "cleveland oven cup" pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0303-76, yang berguna untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala), dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik diatas permukaan aspal (titik bakar).

d). Pemeriksaan kehilangan berat "thick film test" pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal penuru-nan berat yang besar menunjukkan banyaknya bahan-bahan yang hilang karena penguapan. Aspal akan cepat mengeras dan menjadi rapuh. Pemeriksaan ini mengikuti prosedur PA-0304-76.

e). Kelarutan dalam CCL4 "solubility test" pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar aspal "bitumen" yang larut dalam karbon tetraklorida. Jika semua aspal yang di uji larut dalam CCL4 maka bitumen tersebut adalah murni prosedur pemeriksaan mengikuti PA-0305-76. Disyaratkan bitumen yang dipakai untuk perkerasan jalan mempunyai kemurnian > 99%.

f). Pemeriksaan Daktilitas aspal, pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri. Yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat di tarik antara 2 cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pemeriksaan mengukiti prosedur PA-0306-76. Besarnya daktilitas yang disyaratkan adalah minimal 100 cm.

g). Pemeriksaan berat jenis, adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0307-76 dengan nilai minimal sebesar 1 gr/cm3. Berat jenis aspal diperlukan untuk perhitungan dalam analisa campuran.

h). Pemeriksaan viskositas, bertujuan untuk memeriksa kekentalan aspal, dilakukan pada temperatur 60° C dan 135° C. Suhu 60° C adalah temperatur maksimum perkerasan selama masa pelayanan sedang 135° C adalah temperatur pada saat proses pencampuran/penyemprotan dilakukan. Pemeriksaan mengikuti prosedur PA-0308-76.

3. Pemeriksaan bahan pengisi "filler"

Bahan pengisi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah limbah karbid yang berasal dari PT Iga Murni Sejahtera Yogyakarta. Bahan ini harus bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan ayakan maka yang lolos saringan No 200 tidak kurang dari 85 % beratnya atau bila terpaksa tidak boleh kurang dari 75 % beratnya.

5.2. Perencanaan Campuran Ideal

5.2.1. Gradasi agregat ideal

Mengacu pada peraturan dan persyaratan Direktoral Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum SKBI.2.4.26.1987, maka gradasi campuran ideal untuk split mastik aspal adalah seperti tabel 5.1. di bawah ini.

Tabel 5.1. Gradasi Split Mastic Asphalt dari Bina Marga

Ukuran saringan	Lolos saringan	Ideal
12.7	100	100
11.2	90 - 100	95
8.0	50 - 75	62.5
5.0	30 - 50	40
2.0	20 - 30	25
0.71	13 - 25	19
0.25	10 - 20	15
0.09	8 - 13	10.5

Sumber: LASTON. NO.2.4.26.1987

5.2.2. Kadar serat selulosa optimum

Berdasarkan pada peraturan dan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum SKBI.2.4.26.1987, maka kadar serat selulosa optimum yang dipergunakan untuk split mastik aspal adalah sebesar 0,20 % - 0,30 % dari total campuran. Dalam proses pelaksanaan pencampuran di laboratorium, biasanya dipakai kadar serat selulosa sebesar 0.30 % terhadap total campuran.

5.2.3. Kadar Aspal

Berdasarkan pada peraturan dan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, untuk klasifikasi lalu lintas berat, maka aspal yang digunakan sebagai perencanaan adalah aspal keras "asphalt cement" Pen 60-70 yang memenuhi ketentuan SNI No. 1737.1986-F yaitu 6,5 % - 7,4 %. Dalam penelitian ini dipakai kadar aspal 6,5 % dan 7.0 %. Dengan membuat 2 sample "duplo" untuk masing-masing kadar aspal.

5.3. Alat Yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan memakai peralatan sebagai berikut :

1. Cetakan benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 10,15 cm, tinggi 8,75 cm lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
2. Alat penumbuk manual lengkap dengan
   a). Penumbuk yang memiliki permukaan rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,70 cm.
   b). Landasan pemadat yang terdiri dari balok kayu dilapis dengan pelat baja dan dipasang pada lantai baja dikeempat bagian sudutnya.
   c). Pemegang cetakan benda uji.

3. "Ejector" untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
4. Alat "Marshall" lengkap dengan :
   a). Kepala penekan "breaking head" yang berbentuk lengkung.
   b). Cincin penguji "proving ring" dengan kapasitas 2.500 kg dengan ketelitian 12,5 kg yang dilengkapi arloji "dial" tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
   c). Arloji penunjuk kelelehan "Flow" dengan ketelitian 0,25 mm.
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, mampu memanasi sampai 200° C (± 3° C).
6. Bak perendam "water bath" dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20° C sampai dengan 60° C.
7. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
8. Pengukur suhu dari logam "metal thermometer" berkapasitas 250° C dan 100° C dengan ketelitian 0,5 atau 1 % dari kapasitas.
9. Perlengkapan lain :
   a). Panci-panci untuk memanasi agregat, aspal dan campuran aspal.
   b). Sendok pengaduk.
   c). Spatula.
   d). Kompor atau pemanas "hot plate".
   e). Gas elpiji.
   g). Dan peralatan lainnya.

5.4. Prosedur Pelaksanaan Pengujian

5.4.1. Persiapan benda uji

Untuk persiapan benda uji, maka melalui beberapa tahap, yaitu :

1. Proses pembersihan agregat dari kotoran yang menempel lalu dikeringkan dengan oven sampai didapatkan berat tetap pada suhu 105° ± 5° C. Kemudian agregat-agregat tersebut dipisahkan dengan cara penyaringan kering ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki.
2. Kemudian ditimbang untuk mendapatkan gradasi agregat ideal pada satu takaran campuran. Berat total campuran untuk satu benda uji sebesar 1200 gram, meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi "filler".
3. Tahap pencampuran "mixing" dilakukan sebagai berikut :
   a). Panci pencampuran dipanaskan beserta agregat sampai mencapai suhu 160 ° C
   b). Agregat kering diaduk dengan 0,30 % selulosa pada suhu 150° C agar distribusi serat selulosa merata.
   c). Tambahkan aspal AC 60-70 yang telah dipanaskan (sudah mencapai tingkat kekentalan rencana) ke dalam campuran agregat dengan ukuran yang telah sesuai dengan "mix design".
   d). Campuran diaduk "wet mixing" selama 45 - 50 detik.
4. Tahap pemadatan campuran dilakukan sebagai berikut:
   a). Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk lalu dipanaskan pada suhu 93,3° C - 148,9° C.
   b). Cetakan benda uji di timbang dan diukur tinggi cetakan dan diameter cetakan.
   c). Cetakan diletakkan diatas landasan pemadat dan ditahan dengan pemegang cetakan.
   d). Letakkan selembar kertas saring/penghisap menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan.

e). Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan pada suhu 140° C. Kemudian tusuk-tusuk campuran 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali dibagian tengahnya dengan spatula.

f). Pemadatan dikerjakan dengan alat penumbuk untuk 5 kali yang pertama dan diukur ketinggian ruang yang kosong.

g). Diukur ketinggian ruang yang kosong akibat tumbukan, sebanyak 5 titik. Kemudian pelat alas dan leher sambung dipasang kembali untuk dilakukan penumbukan sebanyak 70 kali tumbukan (dipergunakan untuk lalu lintas padat dengan muatan berat) dengan tinggi jatuh 45,7 cm dan palu pemadat selalu tegak lurus cetakan selama pemadatan dikerjakan.

h). Pelat alas dan leher sambung dilepas kembali dari cetakan benda uji, lalu cetakan yang berisi benda uji dibalikkan. Untuk kemudian pelat alas dan leher sambung dipasang kembali ke cetakan benda uji yang telah dibalik.

i). Pada permukaan benda uji yang telah terbalik, kemudian dilakukan tumbukan sebanyak 75 kali. Setelah leher sambung dan pelat alas dilepaskan lalu dilakukan penimbangan dan pengukuran kembali.

j). Dengan hati-hati benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diletakkan diatas permukaan yang rata selama ± 24 jam pada suhu ruang.

k). Supaya benda uji lebih cepat dingin maka dipakai kipas angin.

5.4.2. Cara Pengujian Benda Uji

1. Persiapan benda uji

Dalam persiapan benda uji, maka dilakukan langkah-langkah:

a. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel untuk selanjutnya dilakukan penimbangan.

b. Masing-masing benda uji diberi tanda pengenal.

c. Setiap benda uji di ukur tingginya, dilakukan 3 kali pada tempat yang berbeda, kemudian di rata-rata dengan ketelitian 0.1 mm.

d. Benda uji direndam dalam air ± 24 jam pada suhu ruang.

e. Benda uji ditimbang dalam kondisi di dalam air.

f. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering permukaan jenuh.

2. Cara Pengujian

Pengujian benda uji dilakukan sebagai berikut :

a. Benda uji direndam dalam bak perendam "water bath" selama ± 30 menit dan ± 24 jam dengan suhu perendaman sebesar 60° C.

b. Kepala penekan alat marshall dibersihkan dan permukaan-nya dilumasi dengan vaselin supaya benda mudah dilepas.

c. Setelah benda uji dikeluarkan dari "water bath", segera diletakkan pada alat uji marshall yang dilengkapi dengan arloji kelelehan "flow meter" dan arloji pembebanan "stabilitas".

d. Pembebanan dimulai dengan posisi jarum diatur hingga menunjukkan angka nol, sementara selubung tangkai arloji dipegang dengan kuat terhadap segmen kepala penekan.

e. Kecepatan pembebanan dimulai dengan kecepatan 50 mm/menit hingga pembebanan maksimum tercapai, yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum ukur. Pada saat itu dibaca pembebanan maks yang terjadi pada "flow meter".

5.5. Anggapan Dasar

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh penggunaan limbah karbid pada campuran split mastic asphalt terhadap workabilitas dan durabilitas

campuran. Yang dimaksudkan workabilitas dan durabilitas campuran disini adalah pengaruh terhadap nilai-nilai density, VFWA, VITM, stabilitas, flow, Quotient Marshall.

Dalam pelaksanaan penelitian ini dianggap bahwa peralatannya dalam keadaan standar. Sedangkan bahan-bahan untuk penelitian seperti agregat dan aspal dalam keadaan yang sama, maksudnya adalah kualitas bahan dianggap sama seperti pada hasil pengujian bahan. Selain itu variasi didalam pengerjaan pembuatan benda uji "sample" dianggap relatif kecil atau dapat diabaikan.

5.6. Cara Analisis

Dari hasil penelitian yang dikerjakan diLaboratorium didapatkan data-data antara lain :

a). Berat benda uji sebelum direndam air (gram)

b). Berat benda uji kering permukaan "saturated surface dry" (gram)

c). Berat benda uji di dalam air (gram)

d). Tebal benda uji (mm)

e). Pembacaan arloji stabilitas (mm)

f). Pembacaan arloji flow (mm)

Dari data-data diatas dapat dihitung nilai-nilai dari density, VITM, VFWA,flow, stablilitas dan Masrhall Quotient. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

a. Berat jenis maksimum teoritis (h)

$$\text{dipakai rumus, } h = \frac{100}{\frac{\%\ \text{aggregat}}{\text{BJ aggregat}} + \frac{\%\ \text{aspal}}{\text{BJ aspal}}}$$

BJ aggregat merupakan gabungan antara BJ aggregat kasar dan BJ aggregat halus yang dicari dengan umus :

$$\text{BJ aggregat} = \frac{(X \,.\, F_1) + (Y.F_2)}{100}$$

Keterangan :

X = % agregat kasar

Y = % agregat halus

F_1 = Bj agregat kasar

F_2 = Bj agregat halus

b. Berat isi benda uji "Density" (g)

Dipakai rumus, $g = \frac{c}{f}$, $f = d - e$

Keterangan :

c = berat benda uji sebelum direndam (gram)

d = berat benda uji jenuh air "SSD" (gram)

e = berat benda uji didalam air (gram)

f = isi "Volume" benda uji (ml)

g = berat isi benda uji (gram / ml)

c. VFWA = % rongga terisi aspal (m)

Dipakai rumus, $m = \frac{100}{i / L}$

Dimana, i = rumus substitusi

L = % rongga terhadap aggregat

d. VITM = % rongga dalam campuran (n)

Dipakai rumus, $n = 100 - (100 \times \frac{g}{h})$

Keterangan :

g = berat isi benda uji

h = berat jenis maksimum teoritis

e. Flow (kelelehan)

Nilai flow dari arloji "flow" yang menyatakan besarnya deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm.

f. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan arloji stabilitas alat tekan Marshall. Nilai ini masih harus dikoreksi dengan kalibrasi alat dan angka koreksi ketebalan (lihat tabel 5.2). Nilai stabilitas terpakai diperoleh dengan rumus :

$$q = 10{,}24 \times s \times 0{,}4536 \times t \ \text{(kg)}$$

Dimana :

q = Nilai stabilitas
s = Pembacaan arloji stabilitas
t = Angka koreksi tebal benda uji
10,24 = Kalibrasi alat
0,4536 = Perubahan satuan (lb menjadi kg)

g. Marshall Quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient didapat dengan membandingkan antara nilai stabilitas dengan flow.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

Tabel 5.2. Angka koreksi tebal benda uji

Isi benda uji (cm^3)	Tebal (mm)	Angka koreksi
200 - 213	25,4	5,56
214 - 225	27,0	5,00
226 - 237	28,6	4,55
238 - 250	30,2	4,17
251 - 264	31,8	3,85
265 - 276	33,3	3,57
277 - 289	34,9	3,33
290 - 301	36,5	3,03
302 - 316	38,1	2,78
317 - 328	39,7	2,50
329 - 340	41,3	2,27
341 - 353	42,9	2,08
354 - 367	44,4	1,92
368 - 379	46,0	1,79
380 - 392	47,6	1,67
393 - 405	49,2	1,56
406 - 420	50,8	1,47
421 - 431	52,4	1,39
432 - 443	54,0	1,32
444 - 456	55,6	1,25
457 - 470	57,2	1,19
471 - 482	58,7	1,14
483 - 495	60,3	1,09
496 - 508	61,9	1,04
509 - 522	63,5	1,00
523 - 535	64,0	0,96
536 - 546	65,1	0,93
547 - 559	66,7	0,89
560 - 573	68,3	0,86
574 - 585	71,4	0,83
586 - 598	73,0	0,81
599 - 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

Sumber : Petunjuk Praktikum Jalan Raya.

BAB VI
HASIL PENELITIAN

6.1. Hasil Penelitian

Dari serangkaian pelaksanaan penelitian dan pengujian bahan dan campuran Split Mastic Asphalt dengan cara marshall didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 6.1 sampai dengan tabel 6.6 berikut ini:

6.1.1. Hasil Pengujian Bahan

Tabel 6.1. Persyaratan agregat kasar dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Keausan dengan mesin Los angeles (%)	maks. 40	29,26
2. Kelekatan terhadap aspal (%)	> 95	100
3. Peresapan terhadap air (%)	maks. 3	1,9192
4. Berat jenis semu (gr/cm^3)	min 2,5	2,7049

Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tabel 6.2. Persyratan agregat halus dan hasil pengujian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat	Hasil
1. Nilai sand equivalent (%)	min. 50	73,56
2. Peresapan terhadap air (%)	maks. 3	1,6260
3. Berat jenis semu (gr/cm^3)	min 2,5	2,7486

Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tabel 6.3. Persyaratan aspal AC 60-70 dan hasil penelitian laboratorium.

Jenis pemeriksaan	Syarat min	Syarat max	Hasil
1. Penetrasi (0,1 mm)	60	79	76,9
2. Titik lembek (° C)	48	58	51,25
3. Titik nyala (° C)	200	-	342
4. Kelarutan dalam CCL4 (%)	99	-	99
5. Berat jenis (gr/cm^3)	1	-	1,0329

Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dari hasil pengujian bahan-bahan seperti tersebut di atas bahan-bahan yang akan dipergunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan sebagai bahan penelitian. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Sedang untuk agregat bahan pengisi "filler" yang dipakai diperiksa/diuji berat jenisnya. Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan.

Berat jenis semu Limbah Karbid = 1,9838 gr/cc.

6.2. Hasil Pengujian

Pelaksanaan penelitian benda uji di Laboratorium dilakukan dengan suhu pencampuran 160° C dan kadar aspal 6,5 % dan 7 % dengan waktu perendaman 30 menit dan 24 jam serta suhu pemadatan 140° C.

Dari hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium, di dapat nilai-nilai VITM "Void in The Mix = % rongga dalam campuran", VFWA" Void Filled with Asphalt = % rongga terisi aspal". Stabilitas, flow dan Marshall Quotient, seperti yang terdapat pada tabel 6.4 sampai tabel 6.5 sebagai berikut :

Tabel 6.4. Hasil test Marshall untuk waktu perendaman 30 menit

	Kandungan/prosentase Filler					
Karakteristik	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %
Density (%)	2,2730	2,2710	2,2265	2,1915	2,1360	2,0950
VIM (%)	4,0115	4,0960	5,9755	7,4535	9,7970	11,529
VFWA (%)	78,6850	77,8085	70,3530	65,0525	57,9710	53,3960
Stabilitas (kg)	1185,33	1251,00	1421,37	1530,75	1304,55	1167,54
Flow (mm)	3,4290	3,3020	2,7940	2,1590	2,0320	3,1750
QM (Kg/mm)	346,500	383,781	507,549	705,792	642,001	360,369

Sumber: hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tabel 6.5. Hasil test Marshall untuk waktu perendaman 24 jam.

	Kandungan/prosentase Filler					
Karakteristik	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %
Density (%)	2,2930	2,2790	2,2245	2,1935	2,1245	2,1054
VIM (%)	2,4670	3,0630	5,3795	6,6990	9,6345	10,334
VFWA (%)	95,7205	83,4350	73,7135	68,979	59,8825	59,234
Stabilitas (kg)	972,955	1263,97	1494,29	1487,29	1464,65	2012,4
Flow (mm)	4,3180	3,3020	2,4130	2,9210	3,0480	2,5400
QM (Kg/mm)	230,598	399,551	643,689	570,846	480,527	543,71

Sumber: hasil penelitian di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

6.2.1. Faktor Kepadatan dan Faktor Penyusutan

Pada penelitian ini dicari faktor kepadatan dan faktor penyusutan campuran. Dengan langkah-langkah perhitungan yang dilakukan untuk sampel I dengan kadar filler 2% adalah sebagai berikut (lihat Tabel 6.6).

Tinggi mold = 8,75 cm

Diameter = 10,15 cm

Volume $= 1/4\ \pi d^2 \cdot h$

Volume 5 kali tumbuk :

$1/4 \cdot 3,14 \cdot (10,15)^2 \cdot 7,51$

$= 607,35\ cm^3$

Volume 150 kali tumbuk :

$1/4 \cdot 3,14 \cdot (10,15)^2 \cdot 6,67$

$= 539,42\ cm^3$

$$\text{Faktor kepadatan} = \frac{\text{volume 5 kali tumbuk}}{\text{volume 150 kali tumbuk}} \times 100$$

$$FK = \frac{607,35}{539,42} \times 100\%$$

$$= 112,59\ \%$$

Faktor susut : 100% - faktor lost

$$\text{Berat isi gembur} = \frac{\text{Berat 150 kali tumbuk}}{\text{volume 150 kali tumbuk}}$$

$$= \frac{1167}{539,42}$$

$$= 2,163\ gram/cm^3.$$

$$\text{Faktor Lost} = \frac{2,163}{2,236} \times 100\%$$

$$= 96,74\ \%$$

Faktor susut $= 100\% - 96,74\ \%$

$= 3,26\ \%$

PERPUSTAKAAN FAKULTAS TEKNIK

Tabel 6.6. Hasil Analisa Faktor Kepadatan dan Faktor Penyusutan

d = 10,15 cm h = 8,75 cm	kadar filler (%)	Tinggi 5 kali Tumbuk	Tinggi 150 kali Tumbuk	Volume 5 kali Tumbuk	Volume 150 kali Tumbuk	Berat 1 50 kali Tumbuk	Berat Isi Padat (gr/cm^3)	Faktor Kepadatan (%)	Faktor Susut (%)
Benda Uji I	2	7,51	6,67	607,35	539,42	1167	2,236	112,59	3,26
	2	7,25	6,57	586,32	531,33	1183	2,3100	110,35	3,62
								111,47	3,445
Benda Uji II	4	7,54	6,74	609,78	545,08	1183	2,266	111,87	4,22
	4	7,60	6,76	614,63	546,69	1193	2,276	112,43	4,12
								112,15	4,17
Benda Uji III	6	7,87	6,83	636,46	552,36	1187	2,201	115,23	2,41
	6	7,52	6,74	608,16	545,08	1194	2,252	111,57	2,73
								113,40	2,57
Benda Uji IV	8	7,91	6,76	639,70	546,69	1189	2,210	117,01	1,59
	8	7,69	6,93	621,91	560,44	1187	2,173	110,97	2,53
								113,99	2,06
Benda Uji V	10	8,10	6,87	655,06	555,59	1187	2,158	117,91	0,99
	10	7,90	7,03	638,89	568,53	1180	2,114	112,38	1,82
								115,14	1,405
Benda Uji VI	12	8,10	7,12	655,06	575,89	1185	2,086	113,75	1,36
	12	8,20	7,02	663,15	567,72	1193	2,104	116,81	0,12
								115,28	0,74
Benda Uji VII	2	7,08	6,50	572,58	525,67	1192	2,310	108,92	1,84
	2	7,03	6,67	568,53	539,01	1195	2,276	105,48	2,59
								107,20	2,215
Benda Uji VIII	4	7,10	6,64	574,19	536,75	1198	2,281	106,98	2,51
	4	7,50	6,55	606,54	529,71	1189	2,277	114,50	1,42
								110,74	1,965
Benda Uji IX	6	7,23	6,72	584,70	543,30	1189	2,210	107,62	0,97
	6	7,52	6,60	608,16	533,75	1189	2,239	113,94	0,51
								110,78	0,74
Benda Uji X	8	7,71	6,62	623,52	535,45	1186	2,212	116,45	0,13
	8	7,36	6,76	595,22	546,29	1190	2,175	108,94	0,15
								112,704	0,14
Benda Uji XI	10	7,76	6,80	627,57	549,93	1175	2,124	114,12	0,54
	10	8,16	6,96	659,92	562,87	1190	2,125	117,24	0,50
								115,68	0,52
Benda Uji XII	12	8,25	6,96	667,19	562,87	1183	2,120	118,53	0,86
	12	8,58	7,02	693,89	567,72	1177	2,090	122,22	0,80
								120,375	0,83

Sumber Data : Hasil penelitian di Laboratorium UII Yogyakarta.