

STUDI PERBANDINGAN KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR PADA PERKERASAN JALAN LENTUR DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR BATU PECAH MESIN DAN BATU ALAMI

Jefri Historisman Waruwu, Tika Ermita Wulandari

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area-Medan

jefriwrw@gmail.com

Abstract

Road infrastructure requires pavement systems with adequate structural performance to sustain traffic loads and ensure long-term serviceability. This study aims to evaluate the comparative performance of flexible pavement mixtures using machine-crushed aggregates and natural aggregates based on Marshall characteristics, compressive strength, and flexural strength. The research adopts an experimental laboratory method in accordance with Indonesian national standards (Bina Marga specifications) for Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) mixtures. Marshall testing was conducted to determine the optimum asphalt content (OAC) and to evaluate key parameters, including stability, flow, density, voids in mineral aggregate (VMA), voids in mix (VIM), and voids filled with bitumen (VFB). In addition, compressive strength and flexural strength tests were performed to assess the mechanical behavior and structural resistance of the asphalt mixtures under load. The results indicate that mixtures incorporating machine-crushed aggregates exhibit higher Marshall stability, improved interlocking, and better load-bearing capacity compared to those using natural aggregates. Furthermore, the compressive and flexural strength values of crushed aggregate mixtures are consistently higher, indicating superior resistance to deformation and cracking. The findings suggest that aggregate type significantly influences the mechanical performance and durability of flexible pavement. The use of machine-crushed aggregates enhances structural integrity, making it more suitable for pavements subjected to moderate to heavy traffic loads. Therefore, proper material selection, accurate determination of OAC, and strict quality control during mix design and production are essential to achieve optimal pavement performance and extend service life.

Keywords: Flexible Pavement, Marshall Test, Compressive Strength, Flexural Strength, AC-WC, Optimum Asphalt Content (OAC).

I. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Jalan raya merupakan salah satu prasarana perhubungan darat yang keberadaannya sangat diperlukan, hal ini juga harus diiringi dengan kelayakan konstruksi jalan tersebut guna menunjang kelancaran transportasi dan perekonomian yang baik, cepat dan efisien. Pembangunan jaringan jalan yang mencukupi agar mampu memberikan pelayanan yang optimal sesuai dengan kapasitas yang diperlukan selain perencanaan geometrik jalan dari segi struktur yang dilihat dari perkerasan jalan tersebut. Salah satu jenis perkerasan yang umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur (flexible pavement), khususnya lapisan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Kinerja perkerasan sangat dipengaruhi oleh kualitas material penyusunnya, terutama agregat kasar. Agregat kasar dapat berasal dari batu pecah mesin maupun batu alami. Perbedaan karakteristik kedua jenis agregat ini dapat mempengaruhi kekuatan campuran aspal, baik terhadap beban tekan maupun lentur.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan kuat tekan dan kuat lentur campuran aspal dengan menggunakan kedua jenis agregat tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Perbandingan kuat tekan dan kuat lentur pada perkerasan jalan lentur dengan menggunakan agregat batu pecah mesin dan batu alami?
2. Bagaimana pengaruh agregat kasar batu pecah mesin dan batu pecah alami terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada perkerasan lentur?
3. Agregat mana yang memberikan kinerja terbaik?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kuat tekan campuran aspal.
2. Menganalisis kuat lentur campuran aspal.
3. Mendapatkan seberapa besar nilai kuat tekan dan kuat lentur dengan perbandingan menggunakan agregat kasar batu pecah mesin dan batu alami.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu di Indonesia yang berkaitan dengan penggunaan agregat pada campuran aspal serta pengaruhnya terhadap kinerja perkerasan jalan telah banyak dilakukan. Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar dalam memahami hubungan antara karakteristik agregat dan performa campuran aspal.

Penelitian yang dilakukan oleh Sukirman (2010) membahas karakteristik campuran aspal dengan metode Marshall menggunakan variasi jenis agregat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu pecah mesin menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan agregat alami. Selain itu, nilai flow yang dihasilkan cenderung lebih stabil serta interlocking antar agregat menjadi lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk dan tekstur agregat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja campuran aspal, khususnya dalam meningkatkan stabilitas. Selanjutnya, penelitian oleh Tamin (2015) mengkaji pengaruh variasi agregat terhadap karakteristik volumetrik dan parameter Marshall pada campuran AC-WC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gradasi agregat mempengaruhi nilai Void in Mix (VIM) dan Void in Mineral Aggregate (VMA). Selain itu, kadar aspal optimum (KAO) yang diperoleh berbeda untuk setiap jenis agregat yang digunakan. Stabilitas campuran juga dipengaruhi oleh bentuk dan tekstur agregat.

Penelitian lain dilakukan oleh Suryadharma (2018) yang menganalisis pengaruh kualitas agregat terhadap kekuatan mekanis campuran aspal, khususnya kuat tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agregat dengan nilai keausan rendah menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Selain itu, campuran dengan agregat berkualitas baik memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban.

Hal ini sejalan dengan penelitian Aesara et al. (2019) yang menunjukkan bahwa perbedaan sumber agregat menghasilkan nilai karakteristik Marshall yang berbeda, termasuk kadar aspal optimum dan stabilitas campuran. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa kualitas agregat sangat menentukan kinerja mekanis campuran aspal.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa agregat batu pecah mesin cenderung memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan agregat alami. Selain itu, parameter Marshall seperti stabilitas, flow, serta parameter volumetrik sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan. Kualitas agregat juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan campuran aspal, baik dari segi stabilitas maupun kekuatan mekanis.

Adapun perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada ruang lingkup pengujian yang dilakukan. Penelitian ini tidak hanya menganalisis parameter Marshall, tetapi juga mengkaji dua parameter mekanis sekaligus, yaitu kuat tekan dan kuat lentur. Selain itu, penelitian ini menggunakan perbandingan langsung antara agregat batu pecah mesin dan batu alami, serta mengkombinasikan metode Marshall dengan pengujian mekanis lanjutan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh jenis agregat terhadap kinerja campuran aspal.

2.2 Perkerasan Jalan

Perkerasan Jalan Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

Menurut Sukirman dalam Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1992, berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas 3 (tiga) macam yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavements), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
2. Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavements), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (Portland cement) sebagai bahan pengikat pelat beton dengan atau tanpa tulangan, diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis fondasi bawah.
3. Konstruksi perkerasan komposit (composite pavements), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan kaku diatas perkerasan lentur atau pun sebaliknya.

Untuk konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri dari beberapa kriteria yaitu :

1. Lapis permukaan (surface course), berfungsi sebagai:
 - a. Lapisan yang memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak licin,
 - b. Lapisan yang mendukung dan menyebarkan beban vertical atau horizontal atau gaya geser dari kendaraan.
 - c. Lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan.
 - d. Sebagai lapis aus.
2. Lapis fondasi atas (base course), berfungsi sebagai:

- a. Lapis pendukung lapis permukaan.
 - b. Pemikul beban vertical dan horizontal.
 - c. Lapisan peresapan bagi lapis fondasi bawah.
3. Lapis fondasi bawah (sub base course), berfungsi sebagai :
- a. Lapisan yang menyebarkan beban roda.
 - b. Lapisan peresapan,
 - c. Lapisan pencegah masuknya tanah dasar ke lapis fondasi,
 - d. Lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan.

Tanah dasar (sub grade), tanah dasar merupakan tanah asli, permukaan tanah galian yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk peletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2.3 Karakteristik Perkerasan Jalan

2.3.1 Stabilitas

Stabilitas lapis perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan jalan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau pun bleeding. Stabilitas terjadi dari geser antar butir, pengunci anantar pertikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan terlalu kaku sehingga mudah mengalami retakan, disamping itu karena volum antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. (Sukirman, 1992).

2.3.2 Durabilitas (Durability)

Durabilitas dari lapis keras adalah ketahanan lapis keras tersebut terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas. Faktor yang dapat mempertinggi durabilitas adalah jumlah aspal yang tinggi, gradasi yang rapat, pemadatan yang benar, campuran aspal dan batuan yang rapat air, serta kekerasan dari batuan penyusun lapis perkerasan tersebut.

2.3.3 Fleksibilitas (Flexibility)

Fleksibilitas dari suatu campuran perkerasan menunjukkan kemampuan untuk menahan lendutan/tekukan misalnya dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan kecil dari lapisan bawahnya terutama lapisan tanah dasar (subgrade), tanpa mengalami keretakan. Untuk meningkatkan kelenturan, pemakai agregat dengan gradasi terbuka sangat sesuai, tetapi dengan pemakaian tersebut akan dihasilkan stabilitas tidak sebaik apabila menggunakan gradasi rapat. Sifat aspal terutama daktilitasnya sangat menentukan kelenturan perkerasan. Aspal yang mempunyai daktilitas rendah, maka dalam campuran perkerasan akan menghasilkan suatu perkerasan yang fleksibilitasnya rendah.

2.3.4 Kekesatan (Skid Resistance)

Dimaksudkan disini adalah kemampuan dari permukaan perkerasan untuk memperkecil terjadinya roda kendaraan slip atau tergelincir terutama pada waktu permukaan jalan dalam keadaan basah. Permukaan jalan yang kasar mempunyai kekesatan yang lebih baik daripada permukaan jalan yang halus. Permukaan jalan yang terlalu kasar menyebabkan gangguan kenyamanan akibat bunyi yang timbul pada gesek antara ban dengan permukaan jalan, serta ban menjadi mudah aus. Permukaan perkerasan yang mengalami bleeding, kekesatannya menjadi rendah. Oleh karena itu kadar aspal yang cukup masih tersedia rongga udaranya (3%-5%) untuk pemuaian aspal, akan membantu terjadinya nilai kekesatan yang optimum.

2.3.5 Ketahanan Kelelahan (Fatigue Resistance)

Menurut Sukirman dalam Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1992, ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis tipis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (rutting) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

1. VITM, yaitu volume (%) rongga campuran. Persen rongga yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan menyebabkan kelelahan yang lebih cepat.
2. VMA (Void in Mineral Agregat), yaitu persen rongga dalam agregat. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi akan mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lebih fleksibel.

2.3.6 Kemudahan untuk dikerjakan (Workability)

Menurut Sukirman dalam Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1992, workability adalah kemudahan suatu campuran untuk dicampur, diamparkan dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah:

1. Gradasi agregat, agregat bergradasi rapat / baik akan lebih mudah dilaksanakan daripada agregat yang bergradasi lain.
2. Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat Kandungan yang bersifat thermoplastic.
3. bahan pengisi (filler).

2.4 Aspal

Bahan dasar dari aspal adalah hidrokarbon yang umum disebut sebagai bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi, dan disamping itu mulai banyak pula digunakan aspal yang berasal dari pulau Buton. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya 4%-10% berdasarkan berat atau 10%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relative mahal (Sukirman, 1992).

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 berubah menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kepori-pori yang ada pada penyemprotan / penyiraman pada pelaksanaan macadam atau pelaburan. Jika temperaturnya mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat thermoplastic).

Jenis lapis permukaan terdapat bermacam-macam yaitu:

a. Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis Aspal Beton (LASTON) adalah merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

b. Lapis Penetrasi Makadam (LAPEN)

Lapis Penetrasi Macadam (LAPEN) adalah merupakan suatu lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dengan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan diatasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan apabila akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan batu penutup.

c. Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG)

Lapis Asbuton Campuran Dingin (LASBUTAG) adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan peremaja dan filler (bila diperlukan) yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin.

d. Hot Rolled Asphalt (HRA)

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

e. Laburan Aspal (BURAS)

Laburan Aspal (BURAS) adalah merupakan lapis penutup terdiri dengan ukuran butir maksimum dari lapisan aspal taburan pasir 9,6 mm atau 3/8 inch.

f. Laburan Batu Satu Lapis (BURTU)

Laburan Batu Satu Lapis (BURTU) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam. Tebal maksimum 20 mm.

g. Laburan Batu Dua Lapis

Laburan Batu Dua Lapis (BURDA) adalah

merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan. Tebal maksimum 35 mm.

h. Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS)

Lapis Aspal Beton Pondasi Atas (LASTON ATAS) adalah merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu, dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

i. Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH)

Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah (LASTON BAWAH) adalah pada umumnya merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan pada temperatur tertentu.

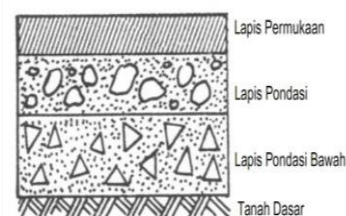
j. Lapis Tipis Aspal Beton

Lapis Tipis Aspal Beton (LASTON) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Tebal padat antara 25 sampai 30 mm.

k. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR)

Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

Aspal Makadam adalah merupakan lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dan/atau agregat pengunci bergradasi terbuka atau seragam yang dicampur dengan aspal cair, diperam dan dipadatkan secara dingin. Bagian perkerasan jalan. umumnya meliputi: lapis pondasi bawah (sub base course), lapis pondasi (base course), dan lapis permukaan (surface course).



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan Lentur

Sumber: Dinas PUPR (2016)

2.5 Agregat

Menurut Sukirman (2003) agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun

buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan. Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan.

(a) Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 (BSN, 2002) agregat kasar adalah batu kerikil yang memiliki ukuran 5 mm – 40 mm. Adapun syarat agregat yang dapat digunakan berdasarkan SNI 03-6861-2002 (BSN, 2002), sebagai berikut :

- Kadar lumpur yang terdapat didalam agregat harus lebih kecil daripada 1%, jika lebih daripada 1% maka agregat kasar harus dilakukan pencucian terlebih dahulu.
- Nilai modulus halus butir (mhb) agregat kasar yang didapat setelah pengayakan menggunakan mesih shaker berada pada rentang 6-7, 10. Agregat kasar harus memiliki ukuran yang beragam atau bergradasi menerus. Agregat harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut :
 - Sisa dari pengayakan agregat tidak boleh lebih besar dari 60% dan kurang dari 10% berat total.
 - Agregat yang tertahan pada saringan diameter 4,8 mm, besarnya berada pada rentang 90%-98%.
 - Agregat yang tersisa ukurannya tidak boleh lebih dari 38 mm.
- Agregat kasar memiliki sifat yang tahan terhadap cuaca apapun. Agregat panjang dan pipih yang digunakan tidak boleh lebih dari 20% berat total agregat.
- Agregat tidak berpori dan berbutir keras.

Sebagai bahan campuran aspal panas, Bina Marga (2007) mensyaratkan agregat yang digunakan harus memenuhi spesifikasi:

- Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan no. 8 (2,36 mm) dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 1.
- Fraksi agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal tunggal. Ukuran maksimum (maximum size) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal (nominal maximum size). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.
- Agregat kasar harus mempunyai angularitas
Agregat kasar untuk latasir kelas A dan B

boleh dari kerikil yang bersih.

- Agregat kasar yang kotor dan berdebu yang mempunyai partikel lolos saringan no. 200 lebih besar 1% tidak boleh digunakan.
- Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke Unit Pencampur Aspal (UPA) dengan melalui pemasok penampung dingin (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.
- Pembatasan lolos saringan No. 200 < 1%, pada saringan kering karena agregat kasar yang dilekati lumpur tidak dapat dipisahkan pada waktu pengeringan sehingga tidak dapat dilekati aspal.
- Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
- Berat jenis (bulk specific gravity) agregat kasar dan halus minimum 2,5 dan perbedaannya tidak boleh lebih dari 0,2

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar (Bina Marga 2007)

Pengujian	Standar	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-4217-1991	≤ 40 %
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	≤ 12 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	≥ 95 %
Angularitas untuk kedalaman < 10 cm dari permukaan	DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 621	95/90 80/75
Indeks Kepipihan	BS 812	≤ 25 %
Partikel lonjong	ASTM D-4721	≤ 10 %
Material lolos ayakan No. 200	SNI 03-4142-1996	≤ 1 %

(Sumber: Bina Marga (2007))

Catatan :

80/75 menunjukkan bahwa 80 % mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75 % mempunyai muka bidang dua atau lebih.

Jenis agregat kasar:

- Kerikil atau batu pecah mesin

Kerikil ini didapat dari proses alami yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari pada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi. Penggolongan batu pecah mesin adalah:

- Kerikil halus = 0,5 mm -10 mm
- Kerikil sedang = 10 mm - 20 mm
- Kerikil kasar = 20 mm - 40 mm
- Kerikil kasar sekali = 40 mm - 70 mm

b. Batu alam

Bahan ini didapat dari cadas atau batu alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya. Hasil pemecahan dengan stone crusher, dengan penggolongan:

- 0,5 mm - 10 mm
- 10 mm - 20 mm
- 20 mm - 40 mm
- 40 mm - 70 mm

Berikut ini merupakan tabel ukuran nominal agregat kasar penampung dingin untuk campuran aspal dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini. Tabel digunakan sebagai acuan dalam melakukan kajian penentuan ukuran atau nominal pada campuran agregat kasar pada benda uji.

Tabel 2.2 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung untuk Campuran Aspal

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar (mm)			
	5 – 10	10 – 14	14 – 22	22 – 30
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya	-	-
Lataston Lapis Pondasi	Ya	Ya	-	-
Laston Lapis Aus	Ya	Ya	-	-
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	-
Laston Lapis Pondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Revisi III)

(b) Agregat Halus

Sebagai bahan campuran aspal panas, Bina Marga (2007) mensyaratkan agregat yang digunakan harus memenuhi spesifikasi :

- Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau pengsaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm).
- Fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah.
- Pasir boleh digunakan dalam campuran beraspal. Persentase maksimum yang diijinkan untuk laston (AC) adalah 10 %.
- Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Agar dapat memenuhi spesifikasi, batu pecah halus harus diproduksi

dari batu yang bersih.

- Agregat pecah halus dan pasir harus dipasok ke Unit Pencampur Aspal dengan melalui pemasok penampung dingin (cold bin feeds) yang terpisah sedemikian rupa sehingga rasio agregat pecah halus dan pasir dapat dikontrol dengan baik.
- Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.
- Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus (Bina Marga 2007)

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45

Sumber: Bina Marga (2007)

2.6 Marshal Test

Pengujian dengan metode dan alat Marshall pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall, Mississippi State Highway Departement pada tahun 1948 dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Dengan pemeriksaan menggunakan alat Marshall diperoleh data-data stabilitas, kelelahan plastis (flow), persen rongga dalam agregat dan berat volume. Untuk memastikan suatu campuran aspal panas sudah memenuhi persyaratan- persyaratan yang sudah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum, maka perlu dilakukan test dengan alat Marshall. Parameter-parameter yang diperoleh dari Marshall Test antara lain:

1. Berat Jenis Bulk Agregat Total

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda. Berat jenis Bulk agregat total (Gsb) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$Gsb = \frac{p1+p2+p3+\dots+pn}{\frac{p1}{Gsb1} + \frac{p2}{Gsb2} + \frac{p3}{Gsb3} + \dots + \frac{pn}{Gsbn}} \dots\dots\dots \text{(pers 1)}$$

Dimana :

Gsb = Berat jenis Bulk agregat total
 P1,P2,...,Pn = Persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran

Gsb1, Gsb2,...,Gsb_n = Berat jenis Bulk masing-masing fraksi agregat

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Bila berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T-209-90, maka berat jenis efektif agregat (Gse), kecuali rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat ditentukan dengan rumus :

$$Gsb = \frac{pmm - pa}{\frac{pmm}{Gmm} - \frac{pa}{Ga}} \dots\dots\dots (Pers 2)$$

Dimana :

Gse = Berat jenis efektif agregat
 Gmm = Berat jenis maksimum campuran
 Pmm = Persen total campuran = 100
 Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %
 Ga = Berat jenis aspal

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran (Gmm) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T-209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Berat jenis maksimum campuran secara teoritis dapat dihitung dengan rumus:

$$Gsb = \frac{pmm}{\frac{pse}{Gse} - \frac{pa}{Ga}} \dots\dots\dots (pers 3)$$

Gmm = Berat jenis maksimum campuran
 Pmm = Persen total campuran = 100
 Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %
 Ps = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %
 Ga = Berat jenis aspal
 Gse = Berat jenis efektif agregat

4. Rongga Udara dalam Campuran / Void In Mix (VIM)

Void In Mix atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran, sedemikian sehingga rongga tidak

terlalu kecil (menimbulkan bleeding) atau terlalu besar (menimbulkan oksidasi/penuaan aspal dengan masuknya udara dan sinar ultra violet) dan menurunkan sifat durabilitas aspal. Rongga udara dalam campuran (VIM) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$VIM = 100 - 100 \times \frac{Bj \text{ Bulk}}{Gmm} \dots\dots\dots (pers 4)$$

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

BJ Bulk = Berat jenis Bulk campuran

5. Rongga pada Campuran Agregat / Void Mineral Aggregate (VMA)

Rongga pada campuran agregat adalah rongga antar butiran agregat, terdiri dari rongga udara serta aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase volume total campuran. Bila rongga udara serta kadar aspal telah diketahui, maka hanya tingkat absorpsi agregat yang belum terungkap. Dengan pertimbangan bahwa penilaian agregat sudah dilakukan pada tahap perencanaan, maka parameter VMA dapat dianggap tidak diperlukan lagi. Rongga diantara agregat (VMA) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{(100 - Pa) \times Bj \text{ Bulk}}{Gsb} \dots\dots\dots (pers 5)$$

Dimana :

VMA = Rongga diantara agregat (%)
 Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %
 BJ Bulk = Berat jenis Bulk campuran
 Gsb = Berat jenis Bulk agregat total

6. Rongga Terisi Aspal / Void Filled with Asphalt (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah volume pori aspal beton padat yang terisi oleh aspal, atau volume film/selimum aspal yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$VMA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots (pers 6)$$

Dimana :

VFA = Rongga terisi aspal (%)

VMA = Rongga diantara agregat (%)

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

7. Stabilitas / Stability

Pengukuran stabilitas dengan Marshall Test diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari contoh/sampel yang ditahan dua sisi kepada penekan (porsi tahanan kohesi lebih dominan dari porsi tahanan penguncian butir) dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

8. Kelelahan / Flow

Parameter flow diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga hancur (pada stabilitas maksimum). Flow akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Campuran berkadar aspal rendah lebih tahan terhadap deformasi jika ditempatkan di as jalan, sedangkan campuran berkadar aspal tinggi akan lebih kuat menahan deformasi jika ditempatkan dibagian tepi perkerasan (tanpa tahanan samping).

9. Hasil Bagi Marshall / Marshall Quotient (MQ)

Parameter Marshall Qoutient diperlukan untuk dapat mengetahui tingkat kekakuan (stiffness) campuran. Pada lapisan overlay ≥ 5 cm, maka kekakuan yang tinggi dapat menahan deformasi dan mendistribusikan beban lalu lintas ke daerah yang lebih luas pada tanah dasar, sedangkan pada pelapisan tambahan tersebut tidak mudah retak. Batasan kekakuan lapis tipis lebih diperketat bila lendutan yang ada (kondisi jalan lama) cukup besar (≥ 2 mm).

10. Stabilitas Setelah Rendaman (Immersion Test)

Immersion Test atau metode uji perendaman pada dasarnya sama dengan metode uji Marshall, yang membedakan adalah pada waktu perendaman benda uji. Uji perendaman ini ditujukan untuk mengetahui durabilitas dari suatu campuran beraspal yang dinyatakan sebagai nilai indeks kekuatan sisa atau "Index Retained Of Stability" (IRS). Dan tiap-tiap nilai mempunyai syarat spesifikasi dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Revisi 3, berikut adalah persyaratan mutu campuran nya.

Tabel 2.4 Persyaratan Mutu Campuran

Kadar aspal terhadap berat campuran (%)	5-7
Density (gr/ml)	Min 2.228
Stability (kg)	Min 800
Flow (mm)	2-4
% Rongga terhadap campuran (VIM)	3-5
% Rongga dalam agregat (VMA)	Min 15
% Rongga terisi aspal (VFA)	Min 65

**Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010
Divisi 6 Revisi III**

III. Metodologi Penelitian

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Adhi Karya yang bertepatan di Jalan Pertahanan Gang Landasan Baru Kecamatan Patumbak Kabupaten Deli Serdang dan waktu penelitian pagi/siang/sore. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 Berikut ini.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Sumber: Google Map

3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan tersebut dibagi menjadi data primer dan data sekunder yang akan dijelaskan di bawah ini:

3.2.1 Data Primer

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini berdasarkan tujuan dan ruang lingkup studi penelitian. Adapun data tersebut meliputi: Berat jenis aspal (Ga), Berat jenis agregat, Berat jenis campuran, Keausan agregat (Los Angeles), VMA (Voids In The Mineral Aggregate), VIM (Void In The Mix), VFA (Void Filled With Asphalt), Stabilitas, Kelelahan (Flow), Marshall Quotient (MQ), Kuat tekan dan kuat lentur masing-masing agregat kasar batu pecah mesin dan batu alami. Data ini merupakan data yang perlu diamati dan didapatkan dalam penelitian ini, berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh peneliti. Data kemudian dialisis berdasarkan landasan teori dan metode penelitian yang digunakan.

3.2.2 Data Sekunder

Data skunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang ditentukan oleh peneliti berdasarkan teori yang didapat dari berbagai sumber penelitian terdahulu pada landasan teori, yang di dalamnya meliputi bahan dan alat yang diperlukan dalam penelitian dijelaskan sebagai berikut ini:

a. Bahan

- 1) Aspal Aspal yang digunakan adalah aspal keras dengan temperaturnya berbentuk padat, didapat dari took material.
- 2) Agregat Halus
Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Medan yang dibeli dari tempat material bangunan.
- 3) Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan ada dua jenis yaitu batu pecah mesin dan batu alami, dalam penelitian ini dibeli dari tempat penjualan material bangunan yang berlokasi di Medan.

4) Tar

Tar merupakan bahan pengisi atau tambahan yang berguna untuk mengikat yang terdapat di dalam campuran aspal pad perkerasan.

b. Alat

- 1) 9 buah cetakan benda uji yang berdiameter 10 cm (4'') dan tinggi 7,5 cm (3'') lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
- 2) Alat pengeluar benda uji. Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebagai alat ejector.
- 3) Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 pound), dan tinggi jatuh lebih bebas 45,7 cm (18'')
- 4) Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran kira-kira 20 20 45 cm (8'' x 8'' x 18'') yang dilapisi dengan pelat baja berukuran 30 30 2,5 cm (12'' x 12'' x 1'') dan kaitkan pada lantai beton dengan 4 bagian siku.
- 5) Silinder cetakan benda uji
- 6) Mesin tekan lengkap dengan :
 - a. Kepa penekan berbentuk lengkung (breaking head)
 - b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001'')
 - c. Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01'') dengan perlengkapannya.
- 7) Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(200 \pm 3)^\circ\text{C}$
- 8) Bak perendam (waterbath) dilengkapi dengan pengatur suhu minimum 200 C.
- 9) Perlengkapan lain :
 - a. Panci-panci untuk memanaskan agregat aspal dan campuran aspal
 - b. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250 $^\circ\text{C}$ dan 1000C dengan ketelitian 0,5 atau 1 % dari kapasitas
 - c. Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan timbangan berkapasitas 5 kg ketelitian 1 gr
 - d. Kompor, sarang asbes dan karet
 - e. Sendok pengaduk dan perlengkapan lain.

pengolahan data yang didapat dari hasil pengamatan di lapangan dan diolah menggunakan teori-teori dan persamaan-persamaan yang terdapat pada tinjauan pustaka.

Metode pengolahan data dilakukan pada data primer dan data sekunder dengan pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, mulai dari persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran, sampai dengan pengujian dengan Marshall Test. Berikut ini acuan normatif sebagai dasar pelaksanaan penelitian dengan metode berikut ini:

1. SNI 06 – 2484–1991 : Metode Pengujian Campuran aspal dengan alat Marshall.
2. AASHTO. T 245–97 : Standard Method of test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.
3. AASHTO. T 209–90 : Standard Method of test for Maximum Specific Gravity of Bituminous Paving Mixtures.

3.4 Analisis Data

Tahap penyelesaian yaitu tahap analisis dan pembahasan terhadap hasil-hasil pengujian di laboratorium, adapun hasil yang dibahas sebagai berikut:

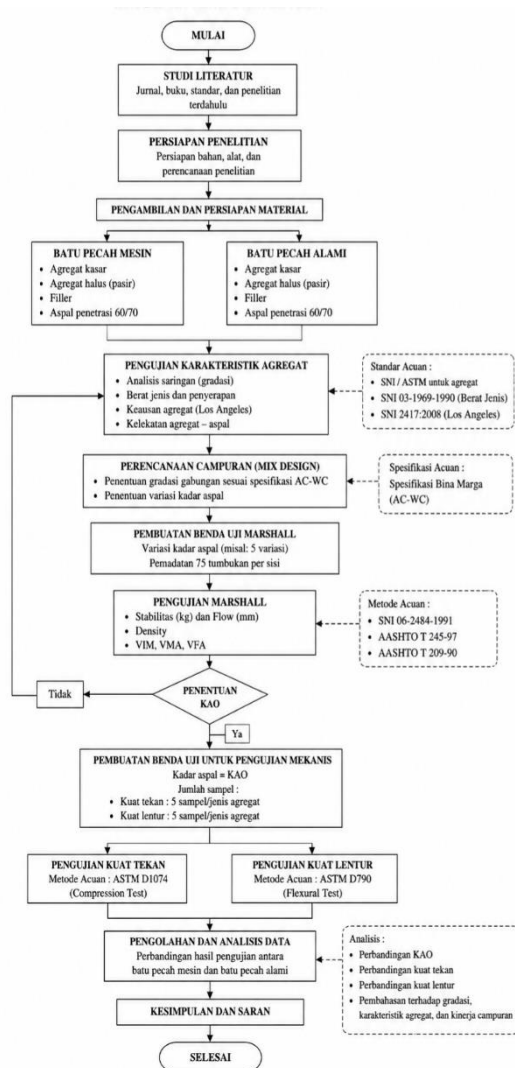
1. Analisis kuat tekan dan kuat lentur pada perkerasan lentur.
2. Analisis perbandingan agregat kasar batu pecah mesin dan batu alami terhadap perkerasan lentur.

Pengujian Marshall dilakukan terhadap seluruh benda uji, kemudian dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh. Dari hasil pengujian didapatkan nilai-nilai kepadatan, stabilitas, flow, VMA, VFA, VIM Marshall, VIM PRD. Kemudian untuk masing-masing parameter yang tercantum dalam persyaratan campuran, digambarkan batas-batas spesifikasi ke dalam grafik dan ditentukan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan. Biasanya kadar aspal rencana berada dekat dengan titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh persyaratan. Pastikan bahwa campuran memenuhi seluruh kriteria dalam persyaratan spesifikasi. Kemudian kita bandingkan karakteristik Marshall dari masing-masing campuran. Setelah pengujian Marshall dilanjutkan dengan analisis data yang diperoleh. Analisa yang dilakukan adalah untuk mendapatkan nilai-nilai Marshall yang digunakan untuk mengetahui karakteristik campuran kedua benda uji, yaitu benda uji yang menggunakan batu pecah mesin dan batu alami.

3.3 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data dijelaskan cara

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Bahan

4.1.1 Analisis Cold Bin

Pengujian bahan dilakukan dengan melakukan analisis cold bin (bin dingin). Bin dingin yang merupakan bak tempat menampung material agregat dari tiap-tiap fraksi mulai dari agregat halus sampai agregat kasar yang diperlukan dalam memproduksi campuran aspal panas (hot mix). Analisa saringan (Shieve Analysis) adalah pengelompokan besar butir analisa agregat kasar dan agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan yang bertujuan mendapatkan batas gradasi dari agregat dan mendapatkan komposisi campuran (gabungan) analisa agregat kasar dan agregat halus dalam bentuk ideal.

Bagian pertama dari AMP (Asphalt mixing plant) adalah bin dingin yaitu tempat penyimpanan fraksi agregat kasar, agregat sedang, agregat halus, dan pasir. Cold bin harus terdiri dari minimum 3-5 bak penampung. Masing-masing bin berisi agregat dengan

gradasi tertentu. Agregat-agregat tersebut harus terpisah satu sama lain untuk menjaga keaslian gradasi dari masing-masing bin sesuai dengan rencana gradasi pada formula campuran kerja. Untuk memisahkannya dapat dipasang pelat baja pemisah antar bin.

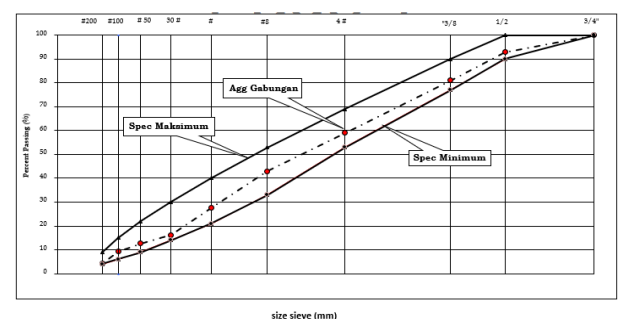
Dengan demikian maka alat pengangkut yang digunakan mengisi masing-masing bin harus mempunyai bak (bucket) yang lebih kecil dari mulut pemisah masing-masing bin.

Penyimpanan gradasi agregat di cold bin baik itu karena tercampurnya agregat pada masing-masing bin atau kalibrasi bukaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kesulitan pengaturan di bin panas (hot bin). Pengujian ini dilakukan terhadap 2 jenis batu yaitu batu alam dan batu pecah mesin. Berdasarkan hasil uji saringan agregat gabungan pada batu alam yang diambil dari cold bin yaitu ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Agregat Gabungan (Sieve Analysis Of Agregat Combine) Batu Alam.

Uraian										
Inch	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Milimeter	19.05	12.7	9.53	4.76	2.38	1.19	0.60	0.30	0.15	0.075
Gradasi Agregat										
Natural Sand	100	100	100	99.77	97.43	78.03	32.96	7.91	4.28	1.33
Stone Dust	100	100	100	90.19	59.75	38.49	26.06	25.18	18.85	9.15
Medium Aggregate	100	100	87.25	31.34	21.09	7.97	4.02	1.78	1.10	0.10
CA Batu Alam	100	52.35	-1.01	-6.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Komposisi										
Natural Sand	10%	10	10.00	10.00	9.98	9.74	7.80	3.30	0.79	0.43
Stone Dust	45%	45	45.00	45.00	40.59	26.89	17.32	11.73	11.33	8.48
Medium Aggregate	30%	30	30.00	26.17	9.40	6.33	2.39	1.21	0.53	0.33
CA Batu Alam	15%	15	7.85	-0.15	-1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gradasi Agg. Gabungan	100.00	92.85	81.02	58.93	42.96	27.52	16.23	12.65	9.24	4.28
Spesifikasi										
Maksimum	100.0	100.0	90.0	69.0	53.0	40.0	30.0	22.0	15.0	9.0
Minimum	100.0	90.0	77.0	53.0	33.0	21.0	14.0	9.0	6.0	4.0

Dari Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai persentase CA batu alam yaitu 15%, medium agregat 30%, stone ask 45%, dan natural sand 10%. Dari tiap fraksi agregat telah memenuhi spesifikasi. Adapun grafik pembagian persentase butir dapat dilihat pada grafik 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Sieve Analysis Of Agregat Comibine Batu Alam (Hasil Pengujian)

Berdasarkan Grafik 4.1 garis garis lurus yang berada di bagian atas agregat gabungan merupakan angka maksimum spesifikasi, garis lurus yang berada di bagian bawah merupakan angka minimum spesifikasi, sedangkan garis putus-putus merupakan

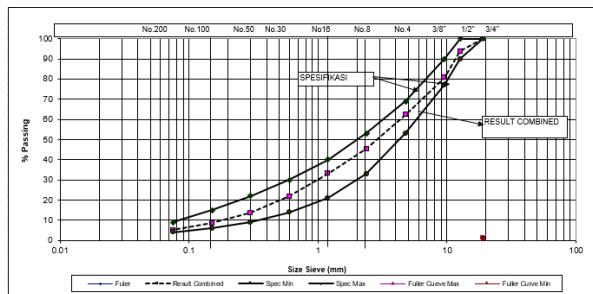
gradasi gabungannya.

Berdasarkan hasil uji saringan agregat gabungan pada batu pecah mesin yang diambil dari cold bin yaitu ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.2 Agregat Gabungan (Sieve Analysis Of Agregat Combine) Batu Pecah Mesin

UKURAN SARINGAN											
Inch		3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Mm		19	12,7	9,53	4,75	2,38	1,19	0,6	0,3	0,15	0,075
DATA MATERIAL											
COARSE AGGREGATE 3/4"		100,00	56,12	13,54	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGGREGATE 1/2"		100,00	100,00	78,99	32,43	11,37	8,47	5,14	4,46	2,48	1,07
FINE AGGREGATE		100,00	100,00	100,00	97,72	76,69	53,16	36,79	25,75	17,10	10,77
NATURAL SAND		100,00	100,00	100,00	100,00	93,51	80,20	45,61	14,20	5,01	1,73
KOMPOSISI CAMPURAN											
COARSE AGGREGATE 3/4"	14	14,00	7,86	1,90	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIUM AGGREGATE 1/2"	34	34,00	34,00	26,86	11,03	3,86	2,88	1,75	1,52	0,84	0,36
FINE AGGREGATE	42	42,00	42,00	42,00	41,04	32,21	22,33	15,45	10,81	7,18	4,52
NATURAL SAND	10	10,00	10,00	10,00	10,00	9,35	8,02	4,56	1,42	0,50	0,17
Total Campuran	100,00	100,00	93,86	80,75	62,24	45,42	33,23	21,76	13,75	8,53	5,06
Spec Max		100,00	100,00	90,00	69,00	53,00	40,00	30,00	22,00	15,00	9,00
Spec Min		100,00	90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00	4,00

Dari Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai persentase CA batu pecah mesin yaitu 14%, medium agregat 34%, fine agregat 42%, dan natural sand 10%. Dari tiap fraksi agregat telah memenuhi spesifikasi. Adapun grafik pembagian persentase butir dapat dilihat pada Grafik 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Sieve Analysis Of Agregat Comibine Batu Pecah Mesin (Hasil Pengujian)

Berdasarkan Grafik 4.2 garis garis lurus yang berada di bagian atas agregat gabungan merupakan angka maksimum spesifikasi, garis lurus yang berada di bagian bawah merupakan angka minimum spesifikasi, sedangkan garis putus-putus merupakan result combined.

4.1.2 Pengujian Agregat

Pengujian bahan dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus. Pengujian bahan tersebut meliputi pengujian kadar lumpur, kadar air, kondisi kering rata-rata, berat jenis permukaan jenuh (SSD), penyerapan, berat sampel dan analisa keausan. Terdapat tiga macam berat jenis yaitu berat jenis kering rata-rata, berat jenis permukaan jenuh, dan berat jenis semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila

berat jenis kering rata-rata < berat jenis permukaan jenuh < berat jenis semu. Hasil pengujian material untuk agregat kasar dan agregat halus pada batu pecah mesin dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat pada Batu Pecah Mesin

Jenis Analisa	HASIL	
	Agregat Halus	Agregat Kasar
1. Kadar Lumpur		
2. Kadar Air		
4. Berat Jenis dan Penyerapan Air		
Berat Jenis Kering Rata-Rata	2,622 gr/cc	2,590 gr/cc
Berat Jenis Permukaan Jenuh (SSD)	2,649 gr/cc	2,603 gr/cc
Berat Jenis (semu)	2,696 gr/cc	2,624 gr/cc
Penyerapan (Absorpsi)	1,051%	0,508%
5. Berat Sampel Kering Oven	494,8 gr	2465 gr
6. Berat Sampel kering Permukaan Jenuh	1243,5 gr	2475 gr
7. Berat Sampel Dalam Air	1555 gr	1524 gr
8. Keausan Agregat		

Dari percobaan yang didapat sesuai Tabel 4.3 untuk pengujian agregat pada batu pecah mesin, rata-rata nilai berat jenis kering rata-rata sebesar 2,604 gr/cc (agregat halus) dan sebesar 2,590 gr/cc (agregat kasar), nilai rata-rata berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,632 gr/cc (agregat halus) dan 2,603 gr/cc (agregat kasar), serta nilai rata-rata berat jenis semu sebesar 2,679 gr/cc (agregat halus) dan 2,624 gr/cc (agregat kasar). Selain berat jenis, pada pemeriksaan ini juga didapat nilai penyerapan pada agregat kasar yang didapat nilai rata-ratanya sebesar 1,082% (agregat halus) dan 0,508% (agregat kasar).

Hasil pengujian bahan untuk agregat kasar dan agregat halus pada batu alam dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat pada Batu Alam

Jenis Analisa	HASIL	
	Agregat Halus	Agregat Kasar
1. Kadar Lumpur	X	
2. Kadar Air	X	x
4. Berat Jenis dan Penyerapan Air		
Berat jenis Kering Rata-Rata	2,604 gr/cc	2,590 gr/cc
Berat Jenis Permukaan Jenuh (SSD)	2,632 gr/cc	2,603 gr/cc
Berat Jenis (semu)	2,679 gr/cc	2,624 gr/cc
Penyerapan (Absorpsi)	1,082%	0,508%
5. Berat Sampel Kering Oven	494,7 gr	2462,5 gr
6. Berat Sampel kering Permukaan Jenuh	1245 gr	2478 gr
7. Berat Sampel Dalam Air	1555 gr	1524 gr
8. Keausan Agregat		15,85%

Dari percobaan yang didapat sesuai Tabel 4.4 untuk pengujian agregat pada batu pecah mesin, rata-rata nilai berat jenis kering rata-rata sebesar 2,622 gr/cc (agregat halus) dan sebesar 2,590 gr/cc (agregat kasar), nilai rata-rata berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,649 gr/cc (agregat halus) dan 2,603 gr/cc (agregat kasar), serta nilai rata-rata berat jenis semu sebesar 2,696 gr/cc (agregat halus) dan 2,624 gr/cc (agregat kasar). Selain berat jenis, pada pemeriksaan ini juga didapat nilai penyerapan pada agregat kasar yang didapat nilai rata-ratanya sebesar 1,051%

(agregat halus) dan 0,508% (agregat kasar).

4.2 Perencanaan Campuran dengan Menggunakan Metode Marshall

Hasil pengujian karakteristik marshall untuk berbagai nilai kadar aspal yang digunakan, diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Marshall Tipe Campuran AC-Wearing Course 60/70 pada Batu Alam

Kadar Aspal	Kode	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Bulk Density (g/cc)	Marshall Quotient (kg/mm)
5.0	1	640	2,65				2,254	
	2	704	2,55				2,240	
	3	576	2,60				2,257	
Rata-rata		640	2,60	17,34	7,62	56,07	2,250	246
5.5	1	768	3,00				2,261	
	2	768	3,20				2,248	
	3	832	3,40				2,260	
Rata-rata		789	3,20	17,56	6,73	61,71	2,256	247
6.0	1	832	3,40				2,261	
	2	806	3,50				2,268	
	3	768	3,35				2,275	
Rata-rata		802	3,42	17,57	5,57	68,27	2,268	235
6.5	1	896	4,10				2,280	
	2	768	3,90				2,263	
	3	870	3,80				2,285	
Rata-rata		845	3,93	17,73	4,59	74,09	2,276	215
7.0	1	768	4,00				2,297	
	2	730	4,10				2,325	
	3	704	4,30				2,284	
Rata-rata		734	4,13	17,23	2,84	83,52	2,302	178

Hasil pengujian karakteristik marshall untuk berbagai nilai kadar aspal yang digunakan pada batu pecah mesin dapat dilihat pada Tabel 4.6.

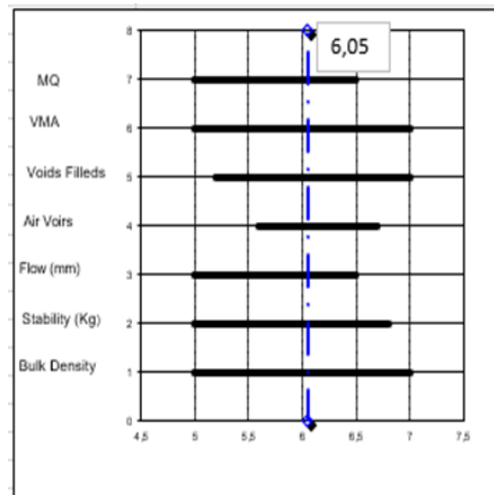
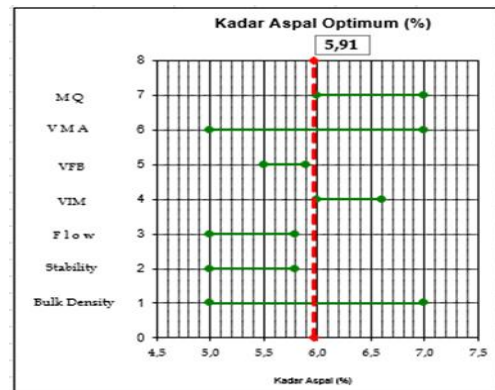
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Marshall Tipe Campuran AC-Wearing Course 60/70 pada Batu Pecah Mesin

Kadar Aspal	Kode	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Bulk Density (g/cc)	Marshall Quotient (kg/mm)
5.0	1	898	2,65				2,272	
	2	798	2,35				2,275	
	3	847	2,40				2,284	
Rata-rata		847	2,47	16,14	5,94	63,17	2,277	344
5.5	1	1090	3,20				2,273	
	2	945	3,30				2,291	
	3	1019	3,40				2,280	
Rata-rata		1018	3,30	16,41	5,08	69,01	2,282	308
6.0	1	1064	3,65				2,276	
	2	1019	3,55				2,287	
	3	1090	3,40				2,306	
Rata-rata		1058	3,53	16,55	4,08	75,35	2,290	299
6.5	1	1104	4,20				2,286	
	2	1043	3,90				2,308	
	3	982	4,10				2,284	
Rata-rata		1043	4,07	16,89	3,29	80,50	2,293	257
7.0	1	859	4,90				2,284	
	2	834	5,10				2,294	
	3	705	4,70				2,292	
Rata-rata		799	4,90	17,44	2,75	84,21	2,290	163

Data dari hasil pengujian marshall diatas kemudian digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat mencapai persyaratan stabilitas, flow, VIM, VFB, VMA, dan density. Penentuan kadar aspal optimum pada campuran menggunakan metode Bina Marga. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan cara menggambarkan rentang kadar aspal yang memenuhi

spesifikasi berdasarkan nilai stabilitas (minimal 800 kg), Flow (minimal 3 mm), VIM (3 - 5%), VFB (minimal 60%), VMA (minimal 13 Gr/cc) dan density.

Nilai-nilai tersebut diambil dari nilai rata-rata masing-masing kadar aspal. Adapun hasil perhitungan kadar aspal optimum pada batu alam dan batu pecah mesin dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kadar Aspal Optimum (1) pada batu alam, (2) pada batu pecah mesin

4.3 Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian karakteristik marshall untuk berbagai nilai kadar aspal yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

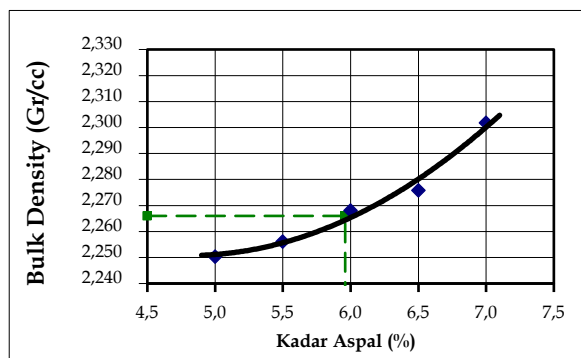
Tabel 4.7 Aspal Rancangan Marshall Test

No.	Parameter	Batu Alam	Batu Murni	Satuan
1	Bulk Density	2,266	2,290	Gr/cc
2	Stability	830	1090	Kg
3	Flow	3,45	3,55	mm
4	VIM	5,60	4,10	%
5	VFB	68,00	76,20	%
6	VMA	17,70	16,50	%
7	MQ	245	310	Kg/mm
8	Asphalt	5,91	6,05	%

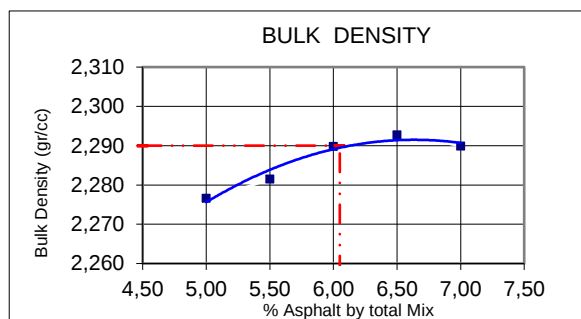
A. Bulk Density

Density merupakan tingkat kerapatan setelah

dipadatkan. Berat jenis (density) adalah berat campuran padat tiap satuan volume. Density dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, pelaksanaan pemadatan baik suhu pemadatan maupun jumlah tumbukannya, kualitas bahan penyusunnya, berat jenis agregat dan kadar aspal. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan (density) tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang mempunyai nilai kepadatan rendah. Campuran akan memiliki nilai density yang tinggi apabila memakai batuan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar butir agregat (Void In Minerale Aggregate, VMA) yang rendah. Nilai density juga meningkat jika energi pemadatan tinggi serta pada suhu pemadatan yang tepat. Meningkatnya prosentase pemakaian kadar aspal juga akan meningkatkan kerapatan campuran, hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang lebih banyak sehingga rongga semakin kecil dan campuran menjadi lebih padat.



Gambar 4.4 Grafik Bulk Density Batu Alam



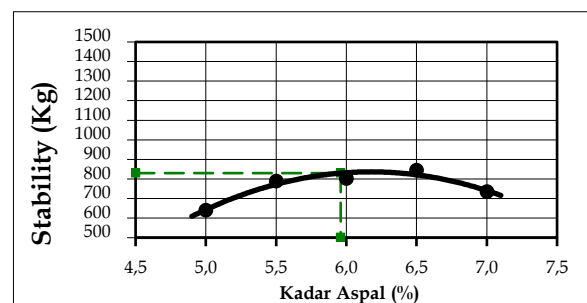
Gambar 4.5 Grafik Bulk Density Batu Pecah Mesin

Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai kerapatan pada batu pecah mesin lebih tinggi dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai density pada batu pecah mesin sebesar 2,290 gr/cc pada kadar aspal 6,05% dan batu alam sebesar 2,266 gr/cc pada 5,91%. Dari spesifikasi Bina Marga, untuk bulk density tidak memberikan persyaratan khusus mengenai nilai density untuk campuran AC.

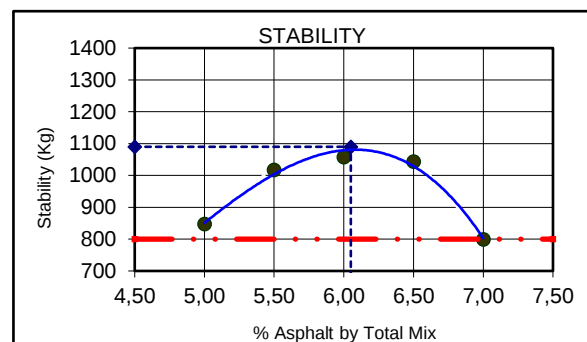
B. Stability

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi yang terjadi

akibat adanya beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur (routing) ataupun bleeding. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel agregat (interlocking) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Nilai stabilitas dipengaruhi sifat saling mengunci antar agregat penyusunnya (internal friction) yang tergantung dari tekstur permukaan, bentuk butiran, gradasi dan kadar aspal. Fungsi dari aspal adalah untuk memberikan ikatan yang kuat antar agregat sehingga menjadi satu kesatuan yang padat dan kompak sehingga nilai stabilitas dapat dicerminkan oleh nilai kepadatan (density). Semakin tinggi nilai density, nilai stabilitas akan semakin tinggi.



Gambar 4.6 Grafik Stability Batu Alam



Gambar 4.7 Grafik Stability Batu Pecah Mesin

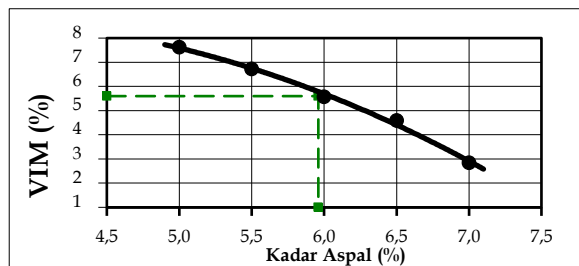
Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada batu pecah mesin lebih tinggi dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai stabilitas pada batu pecah mesin sebesar 1090 Kg pada kadar aspal 6,05% dan batu alam sebesar 830 Kg pada 5,91%. Dari spesifikasi Bina Marga, stabilitas yang disarankan untuk campuran AC adalah 550 Kg sampai dengan 1250 Kg.

C. VIM

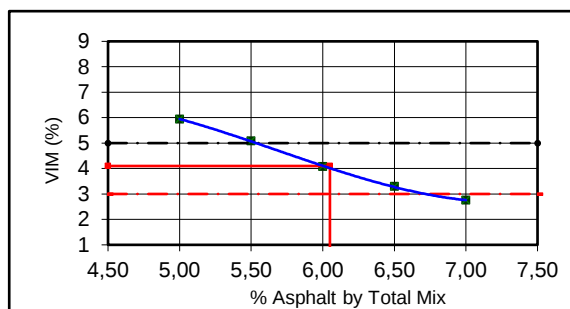
Nilai VIM (Void In Mixed) menunjukkan prosentase rongga yang terdapat dalam campuran total. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VIM adalah gradasi, kadar aspal dan density. Nilai VIM berpengaruh terhadap kekakuan campuran dan kedekatan campuran terhadap air dan udara. Nilai VIM yang terlalu tinggi akan mengakibatkan berkurangnya keawetan dari lapis keras karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan. Udara akan

mengoksidasi aspal hingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Dengan berkurangnya kohesi aspal maka sifat adhesi antara agregat dengan aspal juga berkurang. Jika hal ini

terjadi dapat menimbulkan pelepasan butiran (revelling). Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleeding pada lapis keras. Selain bleeding, dengan nilai VIM yang rendah stabilitas lapis keras akan cenderung menjadi lebih tinggi yang mengakibatkan lapis keras lebih tahan terhadap deformasi apabila menerima beban lalu lintas.



Gambar 4.8 Grafik VIM Batu Alam

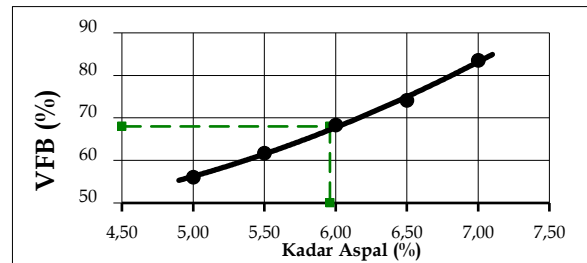


Gambar 4.9 Grafik VIM Batu Pecah Mesin

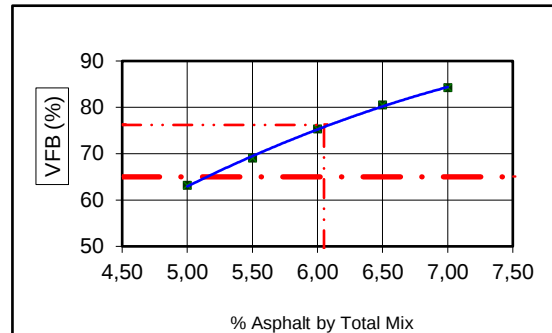
Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai pada batu pecah mesin lebih rendah dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai VIM pada batu pecah mesin sebesar 4.10% pada kadar aspal 6.05% dan batu alam sebesar 5.60% pada 5.91%. Apabila VIM terlalu kecil, pada suhu yang tinggi aspal mengalami penurunan kekentalan sehingga jika mengalami pembebanan, aspal akan bergerak menuju ruang kosong. Jika ruang kosong atau rongga ini terlalu kecil dan tidak tersedia rongga yang cukup bagi aspal maka aspal akan naik ke permukaan.

D. VFB

Nilai VFB (Void Filled Bitument) menunjukkan besarnya rongga dalam campuran yang terisi aspal. Nilai VFB dinyatakan dalam persen. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFB adalah gradasi agregat, kadar aspal dan density. Besarnya nilai VFB berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap airdan udara sehingga akan berpengaruh pada keawetan dari lapis keras.



Gambar 4.10 Grafik VFB Batu Alam

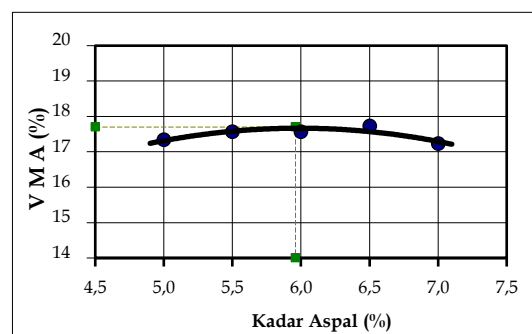


Gambar 4.11 Grafik VFB Batu Pecah Mesin

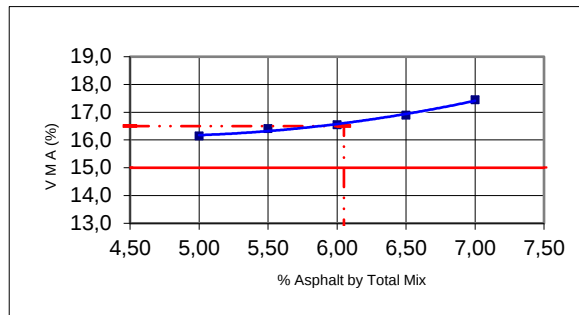
Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai pada batu pecah mesin lebih tinggi dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai VFB pada batu pecah mesin sebesar 76,20% pada kadar aspal 6.05% dan batu alam sebesar 68,00% pada 5.91%.

E. VMA

Nilai VMA menunjukkan besarnya rongga dalam agregat. Nilai VMA dinyatakan dalam persentase faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VMA adalah gradasi agregat dan density. Nilai VMA yang besar berarti semakin banyak rongga dalam agregat dan akan menyebabkan film aspal tebal sehingga mempunyai durabilitas yang tinggi.



Gambar 4.12 Grafik VMA Batu Alam

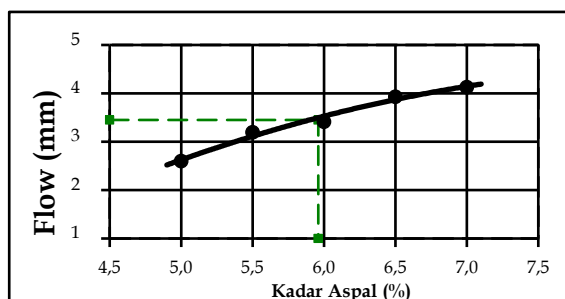


Gambar 4.13 Grafik VMA Batu Pecah Mesin

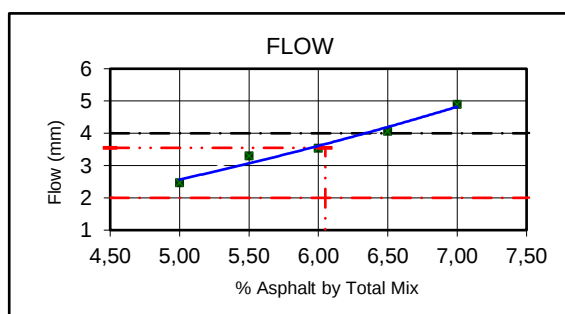
Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai pada batu pecah mesin lebih rendah dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai VMA pada batu pecah mesin sebesar 16,50% pada kadar aspal 6,05% dan batu alam sebesar 17,70% pada 5,91%.

F. Flow

Flow atau kelelahan dari suatu campuran menunjukkan besarnya deformasi dalam campuran akibat adanya beban yang bekerja. Nilai flow dipengaruhi oleh viskositas dan kadar aspal. Campuran yang memiliki kelelahan (flow) yang rendah dan stabilitas yang tinggi, cenderung menjadi terlalu kaku dan getas (brittle), sedangkan campuran yang memiliki nilai kelelahan (flow) yang tinggi dengan nilai stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas.



Gambar 4.14 Grafik VMA Batu Alam



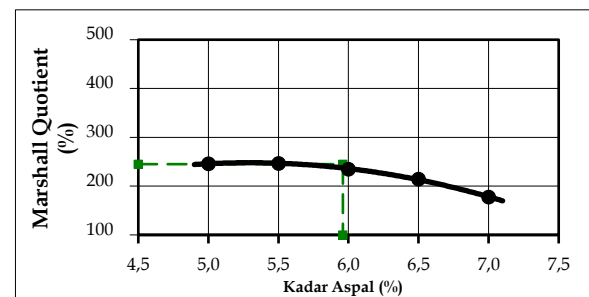
Gambar 4.15 Grafik VMA Batu Pecah Mesin

Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa nilai pada batu pecah mesin lebih tinggi dibandingkan dengan batu alam yaitu titik puncak nilai flow pada batu pecah mesin sebesar 3,55mm pada

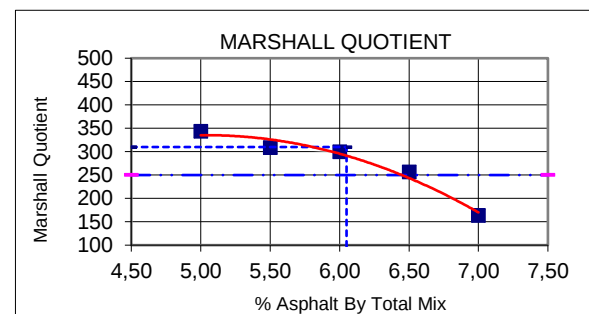
kadar aspal 6,05% dan batu alam sebesar 3,45mm pada 5,91%. spesifikasi teknis Bina Marga untuk campuran AC tidak memberikan persyaratan khusus pada nilai flow. Sedangkan pada spesifikasi pada puslitbang jalan (1998) mensyaratkan nilai flow lebih dari 2mm. jika nilai flow kurang dari 2mm dapat menyebabkan campuran menjadi kaku sehingga lapisan perkerasan mudah mengalami retak.

G. Asphalt Marshall Rancang Tes

Nilai Marshall Quotient (QM) adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan kelelahan (flow) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Besarnya nilai QM tergantung dari besarnya nilai stabilitas dan kelelahan (flow). Stabilitas yang tinggi dengan flow yang rendah akan menghasilkan nilai QM yang tinggi sehingga campuran akan menjadi kaku dan fleksibilitasnya rendah. Sebaliknya nilai stabilitas yang rendah dengan nilai flow yang tinggi akan menghasilkan campuran dengan nilai QM yang rendah sehingga campuran menjadi plastisitas dan akibatnya lapis keras akan mengalami deformasi yang besar apabila menerima beban lalu lintas.



Gambar 4.16 Grafik Marshall Quotient Batu Alam



Gambar 4.17 Grafik Marshall Quotient Batu Pecah Mesin

Dari Dari hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai Marshall Quotient makin kecil. Menurunnya nilai Marshall Qoutient ini disebabkan oleh seiring naiknya nilai stabilitas dan kenaikan nilai flow yang tinggi. Pada campuran dengan perlakuan penuaan cenderung lebih besar dari campuran tanpa perlakuan penuaan.

Hal ini disebabkan nilai stabilitas yang tinggi namun memiliki nilai flow yang rendah, efek dari pemanasan

yang berpengaruh pada pelepasan komponen ringan aspal sehingga campuran menjadi lebih getas. Spesifikasi teknis Bina Marga memberikan persyaratan khusus untuk campuran AC yaitu lebih dari 200 Kg/mm, nilai Marshall Quotient dibawah 200 Kg/mm akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami washboarding, rutting, dan bleeding.

4.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian dilakukan pada benda uji baru dengan kadar aspal optimum hasil Marshall.

a. Batu Pecah Mesin

Hasil pengujian kuat tekan pada agregat batu pecah mesin dengan KAO sebesar 6,05 % dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji Kuat Tekan Agregat Batu Pecah Mesin (KAO = 6,05 %).

No	Beban Maks kN	Luas Penampang (cm)	Kuat Tekan (Mpa)
1	58	50	11,6
2	60	50	12,0
3	59	50	11,8
4	61	50	12,2
5	57	50	11,4

Dari tabel di atas diperoleh nilai rata-rata kuat tekan dari kelima benda uji adalah sebesar 11,8 Mpa.

b. Batu Alam

Hasil pengujian kuat tekan pada agregat batu alami dengan KAO sebesar 5,91 % dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji Kuat Tekan Agregat Batu Alam (KAO = 5,91 %).

No	Beban Maks kN	Luas Penampang (cm)	Kuat Tekan (Mpa)
1	46	50	9,2
2	48	50	9,6
3	47	50	9,4
4	49	50	9,8
5	45	50	9,0

Dari tabel di atas diperoleh nilai rata-rata kuat tekan dari kelima benda uji sebesar 9,4 MPa.

Perbandingan kuat tekan dari kedua jenis agregat dapat dilihat dalam grafik di bawah ini.



Grafik 4.18 Perbandingan Kuat Tekan Dari Kedua Jenis Agregat.

Dari data diatas analisa kuat tekan dari kedua jenis agregat maka diperoleh :

$$\frac{11,8 - 9,4}{9,4} \times 100\% = 25,5 \%$$

Agregat batu pecah mesin lebih tinggi sekitar $\pm 25 \%$, artinya walaupun KAO lebih besar (6,05 %), kekuatan tetap meningkat. Ini menunjukkan kualitas agregat lebih dominan daripada kadar aspal.

4.5 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian dilakukan pada benda uji baru dengan kadar aspal optimim hasil pengujian Marshall.

a. Batu Pecah Mesin

Hasil pengujian kuat lentur pada agregat batu pecah mesin dengan KAO sebesar 6,05 % dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Lentur Agregat Batu Pecah Mesin (KAO = 6,05 %).

No	Beban Maks kN	Panjang (cm)	Kuat Lentur (Mpa)
1	9,5	30	3,15
2	9,7	30	3,22
3	9,6	30	3,18
4	9,8	30	3,25
5	9,4	30	3,12

Dari tabel di atas diperoleh nilai rata-rata kuat lentur dari kelima benda uji adalah 3,18 Mpa.

b. Batu Alam

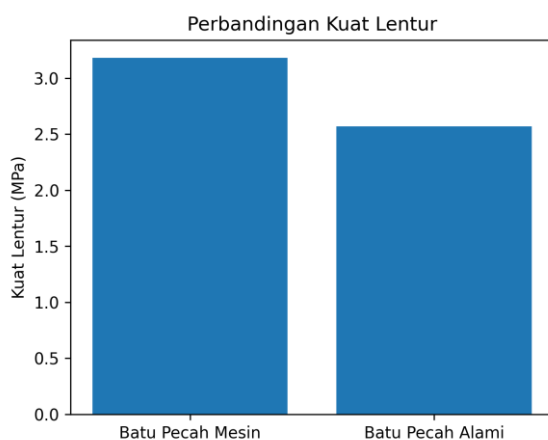
Hasil pengujian kuat lentur pada agregat batu alam dengan KAO sebesar 5,91% dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Uji Kuat Lentur Agregat Batu Alam (KAO = 5,91 %)

No	Beban Maks kN	Panjang (cm)	Kuat Lentur (Mpa)
1	7,6	30	2,53
2	7,8	30	2,60
3	7,7	30	2,57
4	7,9	30	2,63
5	7,5	30	2,50

Dari tabel di atas diperoleh nilai rata-rata kuat lentur dari kelima benda uji sebesar 2,57 Mpa.

Perbandingan kuat lentur dari kedua jenis agregat dapat dilihat dalam grafik berikut ini.

**Grafik 4.18 Perbandingan Kuat Lentur Dari Kedua Jenis Agregat.**

Dari data diatas, analisa kuat lentur dari kedua jenis agregat maka diperoleh :

$$\frac{3,18 - 2,57}{2,57} \times 100\% = 23,7 \%$$

Agregat batu pecah mesin lebih tinggi sekitar $\pm 23 - 24 \%$.

V. Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh dalam penelitian maka peneliti menarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan agregat gabungan dalam pengelolaannya dari tiap fraksi agregat telah memenuhi sesifikasi terhadap batu alam.
2. Penggunaan agregat gabungan dalam pengelolaannya dari tiap fraksi agregat telah memenuhi sesifikasi terhadap batu murni.
3. Dari hasil pengujian agregat pada batu pecah mesin nilai berat jenis kering rata-rata sebesar 2,604 gr/cc (agregat halus) dan

sebesar 2,590 gr/cc (agregat kasar), nilai rata-rata berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,632 gr/cc (agregat halus) dan 2,603 gr/cc (agregat kasar), serta nilai rata-rata berat jenis semu sebesar 2,679 gr/cc (agregat halus) dan 2,624 gr/cc (agregat kasar). Pada pengujian ini dapat diketahui kalau berat jenis agregat telah terpenuhi dimana jenis kering rata-rata < berat jenis permukaan jenuh < berat jenis semu.

4. Dari hasil pengujian agregat pada batu alam nilai berat jenis kering rata-rata sebesar 2,622 gr/cc (agregat halus) dan sebesar 2,590 gr/cc (agregat kasar), nilai rata-rata berat jenis permukaan jenuh sebesar 2,649 gr/cc (agregat halus) dan 2,603 gr/cc (agregat kasar), serta nilai rata-rata berat jenis semu sebesar 2,696 gr/cc (agregat halus) dan 2,624 gr/cc (agregat kasar). Pada pengujian ini dapat diketahui kalau berat jenis agregat telah terpenuhi dimana jenis kering rata-rata < berat jenis permukaan jenuh < berat jenis semu.
5. Dari hasil pengujian Marshall Kadar Aspal Optimum (KAO) batu pecah mesin lebih tinggi dibandingkan dengan batu alam. Pada pengujian Marshall diperoleh KAO batu pecah mesin sebesar 6,05 % sedangkan batu alam sebesar 5,91 %.
6. Dari hasil pengujian kuat tekan menunjukkan batu pecah mesin lebih tinggi yaitu $\pm 25\%$.
7. Dari hasil pengujian kuat lentur menunjukkan batu pecah mesin lebih tinggi yaitu $\pm 23\%$.
8. Agregat batu pecah mesin lebih direkomendasikan untuk perkerasan jalan dengan lintas berat karena tahan retak dan deformasi.
9. Agregat batu alam cocok untuk lalu lintas ringan-sedang dan lebih ekonomis namun performa lebih rendah.

5.2 Saran

1. Merekomendasikan penggunaan agregat batu pecah mesin untuk perkerasan jalan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi jenis aspal atau bahan tambahan (additive) sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap peningkatan kinerja campuran aspal.
3. Penelitian berikutnya dapat menggunakan sumber agregat yang berbeda dari berbagai daerah untuk mengetahui pengaruh karakteristik batuan terhadap kinerja campuran perkerasan.
4. Untuk meningkatkan tingkat kepercayaan hasil penelitian, disarankan menggunakan jumlah benda uji yang lebih banyak sehingga hasil analisis statistik yang diperoleh menjadi lebih representatif.

Daftar Pustaka

- [1]. AASHTO. T 209-90 : *Standard Method of test for Maximum Specific Gravity of Bituminous Paving Mixtures.*
- [2]. AASHTO. T 245-97 : *Standard Method of test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus.*
- [3]. Bani, Slamet Widodo, Eti Sulandari, 2016. *Studi Perbandingan Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Pada Perkerasan Kaku Yang Menggunakan Agregat Batu Pecah Manual Dan Agregat Batu Pecah Mesin.* Jurnal : Teknik Sipil FT UNTAN
- [4]. Bina Marga 2007. *Spesifikasi Umum.* Direktorat Jendral
- [5]. Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum
- [6]. Bina Marga 2010. *Spesifikasi Umum.* Direktorat Jendral
- [7]. Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum.
- [8]. Rahmat, Irna Hendriyani, Ryandi Dito Pratama, 2017. *Kajian Kuat Lentur Beton Pada Perkerasan Kaku Jalan Tol Balikpapan-Samarinda.* Jurnal : Program Studi Teknik Sipil Universitas Balikpapan
- [9]. SNI-03-1959-1990. *Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*
- [10]. SNI-03-1970-1990. *Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*
- [11]. SNI-06-2441-1991. *Berat Jenis aspal*
- [12]. SNI-06-2456-1991. *Penetrasi aspal*
- [13]. SNI 06 – 2484-1991. *Metode Pengujian Campuran aspal dengan alat Marshall.*
- [14]. SNI-06-2434-1991. *Titik lembek aspal*
- [15]. SNI-06-2433-1991 *Titik nyala aspal*
- [16]. Sukirman 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Buku
- [17]. Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Bandung: Nova
- [18]. Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas,* Jakarta