



Pengaruh Abu Limbah Bonggol Jagung sebagai Filler Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)

Ari Eriksan, Elly Tri Pujiastutie, Elsa Rati Hariza

Jurusan Teknik Sipil

Universitas Prof.Dr Hazairin,SH Bengkulu

arieriksan482@gmail.com, ellyfirman@gmail.com, elsaratihariza1993@gmail.com

Abstrak

Pemakaian bahan yang aman ketika membangun jalan dinilai harus diperhatikan secara serius karena berkaitan dengan kualitas konstruksi serta dampaknya terhadap lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah pemanfaatan bahan limbah yang dinilai aman sebagai bahan tambah (filler) dalam campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu limbah bonggol jagung terhadap kinerja campuran aspal Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) pada kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5%. Variasi kadar abu limbah bonggol jagung yang digunakan yaitu 0%, 1%, 2%, dan 3% terhadap berat total filler. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk memperoleh parameter stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), serta nilai Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar penambahan optimum (KPO) abu limbah bonggol jagung berada pada kisaran 1% hingga 2%. Pada KPO 1%, diperoleh nilai VMA sebesar 15,94%, VFA 73,3%, VIM 4,3%, stabilitas 2818,5 kg, flow 3,0 mm, dan MQ 1150,3 kg/mm. Sementara itu, pada KPO 2% diperoleh nilai VMA 16,53%, VFA 70,1%, VIM 5,0%, stabilitas 2447,9 kg, flow 2,7 mm, dan MQ 1015,7 kg/mm. Penambahan abu bonggol jagung memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall, di mana nilai VFA cenderung menurun, sedangkan VMA, VIM, stabilitas, flow, dan MQ mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar abu. Namun, penambahan di atas 2% menunjukkan kecenderungan penurunan kinerja campuran. Dengan demikian, abu limbah bonggol jagung berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti filler yang ramah lingkungan pada campuran AC-WC dalam batas kadar optimal.

Kata kunci: AC-WC, Abu Limbah, Bonggol Jagung, Marshall, Stabilitas

1. Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah salah satu hal yang paling penting untuk menunjang kelancaran transportasi untuk menciptakan rasa nyaman dan aman bagi para pengguna jalan. Melihat peningkatan mobilitas penduduk yang tinggi, maka di perlukan peningkatan kualitas pembangunan prasarana transportasi jalan yang kuat serta tahan lama. Pertumbuhan volume lalu lintas yang meningkat memberikan dampak terhadap permintaan akan pembangunan struktur perkerasan jalan dan penggunaan material yang digunakan. Untuk menghasilkan konstruksi jalan yang baik, maka diperlukan material pembentuk jalan yang mempunyai mutu yang tinggi (Syarifuddin, 2013).

Intensitas beban lalu lintas yang semakin tinggi dan pengaruh lingkungan yang bisa ekstrim menjadi faktor yang mempengaruhi perkerasan tidak sesuai dengan umur rencana. Perkerasan yang sesuai dengan umur rencana harus diperhatikan material campurannya. Perkerasan jalan merupakan suatu lapisan perkerasan yang terdiri dari agregat dan bahan pengikat aspal selain itu banyak yang menggunakan bahan tambah seperti kapur, semen, *fly ash*, maupun limbah industri yang umum digunakan.

Limbah bonggol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang cukup potensial untuk pembangunan jalan, karena hasil pembakaran limbah bonggol jagung yang di ubah menjadi abu mengandung Sio₂ (*silikon dioksida*) mengandung 20,6% yang Dimana silikon dioksida adalah salah satu kandungan utama pada Portland semen, sehingga limbah abu bonggol jagung dapat digunakan sebagai alternative pengganti bahan pengisi (*filler*)

Pemanfaatan abu limbah bonggol jagung telah digunakan sebelumnya dengan dicampurkan dengan aspal dengan judul penelitian " Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai *Filler Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC),(Syahril Alzahri, dan Fery Firnando.). Penelitian lain menggunakan aspal campuran limbah abu

bonggol jagung diaplikasikan terhadap campuran AC-WC dengan judul penelitian “Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi *Filler* Untuk Campuran AC-WC” (Arjuna Sanda Sau’langi, Alpius, Herman Welem Tanje’). Kedua penelitian tersebut menunjukkan stabilitas campuran mengalami peningkatan. Upaya dalam meningkatkan perkerasan jalan banyak peneliti mencari material tambahan (aditif) dan atau material pengganti (subtute) ke dalam campuran. Limbah abu bonggol jagung akan digunakan dalam penelitian ini sebagai pengganti Sebagian *filler* untuk mengkaji karakteristik serta kinerja pada campuran aspal panas AC-WC berdasarkan parameter Marshal

Berdasarkan pernyataan dari beberapa penelitian di atas, penulis tertarik mengkaji penggunaan abu limbah bonggol jagung sebagai *filler* pada lapis perkerasan jalan *Asphalt Concrete- Wearing Course* (AC-WC) dengan persentase penggunaan 0%; 1%; 2% dan 3% terhadap karakteristik marshall.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Prodi Teknik Sipil dengan izin dari Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH Bengkulu, dosen pembimbing, kemudian melakukan literatur, dengan mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambahan yang digunakan, serta metode yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

Untuk pengambilan sampel di lokasi Kab. Bengkulu Utara di Desa Aur Gading berada di perkebunan belakang rumah warga ditempuh dengan waktu 1 jam 45 menit dari lokasi penelitian yang ada di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH Bengkulu.

Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan, di mulai dari tanggal awal maret 2025 hingga akhir april 2025.

Tabel 3. 1 Jadwal Rencana Penelitian

No.	Uraian	Bulan							
		Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan								
2	Perencanaan								
3	Pelaksanaan								
4	Pengolahan Data								
5	Penyusunan Laporan Dan Hasil								

Tahapan penelitian

Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Agregat kasar (split)
Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan (split) ukuran agregat yaitu 4,75 mm-25 mm, agregat kasar ini berasal dari Provinsi Bengkulu.
- b. Agregat halus
Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berupa abu batu yang disaring dan lolos ayakan saringan no 4 (4,75 mm), agregat halus ini berasal dari Provinsi Bengkulu.
- c. Filler
Filler yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu limbah bonggol jagung yang telah di jemur selama 3 hari, setelah itu di bakar, ditumbuk, disaring dan lolos ayakan saringan no 200 (0,075 mm), filler ini berasal dari Kabupaten Bengkulu Utara

d. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang berada di Laboratorium Transportasi Teknik Sipil Universitas Unihaz

Persiapan Alat

Alat-alat yang dibutuhkan untuk penelitian ini tersedia di Laboratorium Beton Aspal Teknik Sipil Universitas Unihaz Provinsi Bengkulu. Peralatan yang digunakan adalah :

- a. Saringan atau ayakan, saringan digunakan untuk campuran aspal AC-WC berukuran 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 mm dan pan.
- b. Timbangan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:
 1. Timbangan kapasitas 20 kg dengan ketelitian 1 gram untuk agregat kasar.
 2. Timbangan digital kapasitas 2 kg ketelitian 2 gram untuk agregat halus dan filler.
- c. Peralatan lainnya yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : gelas ukur 1000 ml, kertas hisap (karton), Automatic Asphalt Compactor, cetakan benda uji (mold) berukuran diameter 10,2 cm dan tinggi 7,62 cm, talam atau pan, oven, piknometer, mesin uji marshall, mesin uji los angeles, ember, kuas, palu karet, jangka sorong, thermometer, kompor, bak perendam, kualiti dan spatula.

Persiapan Laboratorium

Penelitian ini menggunakan metode analisis dan eksperimen. Dimana dalam melakukan kegiatan eksperimen ini dibutuhkan sebuah laboratorium yang mendukung untuk dilakukannya kegiatan eksperimen terhadap campuran AC-WC Tanpa Penambahan (kondisi normal). Setelah laboratorium untuk melaksanakan penelitian sudah siap, selanjutnya dilakukan kegiatan persiapan terhadap material-material yang diperlukan untuk pembuatan benda uji. Benda uji dalam penelitian ini ada 2 jenis, yaitu benda uji untuk campuran AC-WC Tanpa Penambahan (kondisi normal) dan benda uji untuk campuran AC-WC dengan penambahan filler abu limbah bonggol jagung 0%, 1%, 2% dan 3%

Campuran AC-WC Tanpa Penambahan (kondisi normal) yang dimaksud dalam penelitian ini adalah campuran agregat dengan aspal pertamina pen 60/70, yang mana campuran ini umum digunakan sebagai perkerasan aspal jalan raya di Indonesia. Material yang dibutuhkan untuk pembuatan campuran AC-WC Tanpa Penambahan (kondisi normal) mengacu pada Direktorat Jendral Bina Marga (2018) tentang campuran beraspal panas. Berdasarkan spesifikasi tersebut, material yang akan digunakan terdiri atas agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (filler) dan aspal.

Metode Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium, yaitu:

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Pemeriksaan keausan agregat.
- c. Berat jenis agregat.
- d. Tes penetrasi aspal.
- e. Tes titik lembek aspal.
- f. Tes titik nyala dan titik bakar aspal.
- g. Tes berat jenis aspal.
- h. Kadar aspal optimum
- i. Variasi penggunaan abu limbah bonggol jagung sebagai filler pada campuran aspal (Job Mix Formula).
- j. Uji marshall.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan konstruksi jalan (literature) dan konsultasi dengan dosen pembimbing di Universitas Prof. Dr. Hazairin,SH Bengkulu. Data

teknis mengenai standar nasional Indonesia serta buku-buku atau literature sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

Prosedur Penelitian

Secara umum pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa langkah pekerjaan, diawali dengan penyiapan material, pemeriksaan material, pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji. Tahap-tahapan penelitian tersebut, dilakukan dengan berdasarkan standar peraturan pengerjaan aspal yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium. Namun tidak semua material dapat diperiksa karakteristiknya, tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air dan material aditif.

Semua material (aspal, agregat) berasal dari tempat yang berbeda. Semua bahan ditempatkan pada tempat yang aman dan tidak mengalami perubahan fisik dan kimia serta bebas dari benda asing. Untuk menjaga kelembaban supaya tetap material dimasukkan ke dalam kantong plastik. Aspal yang digunakan adalah aspal Penetrasi 60/70. Agregat kasar adalah batu pecahan ukuran 1-2. Agregat medium adalah batu pecahan ukuran 1-1. Agregat halus adalah abu batu. Filler adalah abu limbah bonggol jagung lolos saringan no 200 (0,075 mm).

Metode Analisis

Metode Analisis penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir yaitu sebagai berikut ini :

Pengujian Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan. Kualitas perkerasan sangat tergantung dari bahan penyusunnya, sehingga pengujian terhadap agregat perlu dilakukan secara teliti agar memenuhi spesifikasi. Pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

- a) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar dan Agregat Halus (SNI 1969 : 2008 dan SNI 1970: 2008)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh berat jenis curah, berat jenis permukaan, berat jenis semu, serta besarnya angka penyerapan.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

1. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap dengan temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, dinginkan pada temperatur kamar selama satu sampai tiga jam untuk contoh uji dengan ukuran maksimum nominal 37,5 mm (Saringan No. 1 ½ in.) atau lebih untuk ukuran yang lebih besar sampai agregat cukup dingin pada temperatur yang dapat dikerjakan pada temperatur (kira-kira 50°C). Sesudah itu rendam agregat tersebut di dalam air pada temperatur kamar selama (24 ± 4) jam. Pada saat menguji agregat kasar dengan ukuran maksimum yang besar, akan memerlukan contoh uji yang lebih besar, dan akan lebih mudah di uji dalam dua atau lebih contoh yang lebih kecil, kemudian nilai-nilai yang diperoleh digabungkan dengan perhitungan-perhitungan.
2. Apabila nilai-nilai penyerapan dan berat jenis akan dipergunakan dalam menentukan proporsi campuran beton yang agregatnya akan berada pada kondisi alamnya, maka persyaratan untuk pengeringan awal sampai berat tetap dapat dihilangkan, dan jika permukaan partikel butir contoh terjaga secara terus-menerus dalam kondisi basah, perendaman sampai (24 ± 4) jam juga dapat dihilangkan. Sebagai catatan nilai-nilai untuk penyerapan dan berat jenis curah (jenuh kering permukaan) mungkin lebih tinggi untuk agregat yang tidak kering oven sebelum direndam dibandingkan dengan agregat yang sama tetapi diperlakukan seperti pada pasal 6 butir a. Hal ini jelas, khususnya untuk partikel butiran yang lebih besar dari 75 mm (3 inci) karena air tidak mungkin mampu masuk sampai pusat butiran dalam waktu perendaman seperti yang disyaratkan.
3. Pindahkan contoh uji dari dalam air dan guling-gulingkan pada suatu lembaran penyerap air sampai semua lapisan air yang terlihat hilang. Keringkan air dari butiran yang besar secara tersendiri. Aliran udara yang bergerak dapat digunakan untuk membantu pekerjaan pengeringan. Kerjakan secara hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi jenuh kering permukaan. Tentukan berat benda uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dan semua berat yang

sampai nilai 1,0 gram terdekat atau 0,1 persen yang terdekat dari berat contoh, pilihlah nilai yang lebih besar.

4. Setelah ditentukan beratnya, segera tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut di dalam wadah lalu tentukan beratnya di dalam air, yang mempunyai kerapatan $(997 \pm 2) \text{ kg/m}^3$ pada temperatur $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Hati-hatilah sewaktu berusaha menghilangkan udara yang terperangkap sebelum menentukan berat tersebut, menggoncangkan wadah dalam kondisi terendam. Wadah tersebut harus terendam dengan kedalaman yang cukup untuk menutup contoh uji selama penentuan berat. Kawat yang menggantungkan kontainer tersebut harus memiliki ukuran praktis yang paling kecil untuk memperkecil kemungkinan pengaruh akibat perbedaan panjang kawat yang terendam.
5. Keringkan contoh uji tersebut sampai berat tetap pada temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, dinginkan pada temperatur-kamar selama satu sampai tiga jam, atau sampai agregat telah dingin

b) Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles. (SNI-2417 : 2008)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

1. Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan cara berikut:
 - a. Cara A: Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm ,sampai tertahan),5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran;
 - b. Cara B: Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran;
 - c. Cara C: Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (no.4), Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran;
 - d. Cara D: Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm (no.4) sampai tertahan 2,36 mm (no.8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran;
 - e. Cara E: Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran;
 - f. Cara F: Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran;
 - g. Cara G: Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran;

Bila tidak ditentukan cara yang harus dilakukan, maka pemilihan gradasi disesuaikan dengan contoh material yang merupakan wakil dari material yang akan digunakan.

2. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Abrasi Los Angeles;
3. Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran;
4. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12 (1,7 mm); selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

Pengujian Aspal

Pada penelitian ini bahan ikat yang digunakan adalah aspal aspal Pentrase 60/70. Aspal yang akan digunakan dalam penelitian ini diuji terlebih dahulu agar memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Berikut adalah serangkaian pengujian yang akan dilakukan.

a) Pengujian Berat Jenis Aspal Padat. (SNI 06-2441-1991)

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal berguna untuk mencari berat jenis campuran aspal dan agregat, dan dalam Marshall Test berguna untuk menentukan VIM, VFA dan mempengaruhi stabilitas.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

1. isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam 40 mm; kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sehingga perendam sekurang-kurangnya 100 mm; aturlah suhu bak perendam pada suhu 25oC;
2. bersihkan, keringkan, dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg
3. angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan;
4. letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat; kembalilah bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam; diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian angkatlah dan keringkan dengan lap; timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg;
5. panaskan contoh bitumen keras atau ter sejumlah 100 gram, sampai menjadi cair dan aduklah untuk mencegah pemanasan setempat; pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit pada suhu 111oC di atas titik lembek aspal;
6. tuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi 3/4 bagian;
7. biarkan piknometer sampai dingin, selama tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg isilah piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan tutup ditekan, diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar;
8. angkatlah bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di kemudian tekanlah penutup hingga rapat, masukkan ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit kemudian keringkan, dan menggunakan timbangan piknometer.

b) Pengujian Penetrasi (SNI 06-2456-2011)

Pengujian ini merupakan pengukuran secara empiris terhadap konsistensi aspal. Penetrasi adalah masuknya jarum penetrasi dengan ukuran tertentu, beban tertentu dan waktu tertentu ke dalam aspal pada temperatur tertentu.

Pengujian dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :

1. periksa pemegang jarum agar jarum dapat dipasang dengan baik dan bersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain yang sesuai kemudian keringkan dengan lap bersih dan pasang pada pemegang jarum. Apabila diperkirakan nilai penetrasi lebih besar dari 350 disarankan menggunakan jarum penetrasi yang panjang;
2. letakkan pemberat 50 gram pada pemegang jarum untuk memperoleh berat total 100 gram 0,1 gram kecuali disyaratkan berat total yang lain;
3. bila pengujian dilakukan penetrometer dalam bak perendam, letakkan cawan berisi benda uji langsung pada alat penetrometer. Jaga cawan benda uji agar menutupi air dalam bak perendam. Apabila pengujian dilakukan di luar bak perendam letakkan cawan berisi benda uji dalam transfer dish, rendam cawan benda uji dengan air dari bak perendam, dan letakkan pada alat penetrometer;
4. pastikan kerataan posisi alat penetrometer dengan memeriksa waterpass pada alat;

5. turunkan jarum perlahan sampai jarum menyentuh permukaan benda uji. Hal dilakukan dengan cara menurunkan jarum ke permukaan benda uji sampai ujung jarum bersentuhan dengan bayangan jarum dalam benda uji. Agar bayangan jarum dalam benda uji tampak jelas gunakan lampu sorot dengan watt rendah (5 watt) agar tidak mempengaruhi temperatur benda uji. Kemudian aturlah angka 0 pada arloji penetrometer sehingga jarum penunjuk berada pada posisi angka 0 pada jarum penetrometer;
6. segera lepaskan pemegang papa jarum selama waktu yang disyaratkan (5 detik 0,1 detik) atau yang disyaratkan lain seperi pada Tabel 2). Apabila wadah benda uji bergerak pada saat pengujian maka pengujian dianggap gagal;
7. Atur (putar) arloji penetrometer untuk mengukur nilai penetrasi dan bacalah angka penetrasi yang ditunjukkan jarum penunjuk pada angka 0,1 mm terdekat;
8. Lakukan paling sedikit tiga kali pengujian untuk benda uji yang sama, dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak tidak kurang 10 mm dari dinding cawan dan tidak kurang 10 mm dari satu titik pengujian dengan titik pengujian lainnya. Jika digunakan transfer dish, masukkan benda uji dan transfer dish ke dalam bak perendam yang mempunyai temperatur konstan pada setiap selesai satu pengujian benda uji. Gunakan jarum yang bersih untuk setiap kali pengujian. Apabila nilai penetrasi lebih dari 200, gunakan paling sedikit tiga jarum yang setelah digunakan dibiarkan tertancap pada benda uji sampai tiga kali pengujian selesai. Jika diameter cawan benda uji kurang dari 65 mm dan nilai penetrasi diperkirakan lebih dari 200, buat setiap pengujian dari tiga kali pengujian penetrasi dilakukan pada benda uji dalam cawan yang terpisah sebagaimana yang telah disiapkan pada persiapan benda uji butir.

c) Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 06-2434-1991)

Bertujuan untuk mendapatkan besaran titik lembek aspal dan yang berkisar 30° C sampai dengan 157° C dengan cara ring and ball.

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. panaskan aspal tidak lebih dari 2 jam sampai temperatur penguangan dapat lebih dari 110°C atau di atas titik lembek aspal yang diperkirakan;
2. panaskan 2 cetakan cincin pada temperatur penguangan, kemudian letakkan cetakan cincin di atas pelat persiapan benda uji yang telah diberi salah satu dari media persiapan benda uji;
3. Tuangkan aspal panas kedua cetakan cincin hingga berlebih, Diamkan benda uji sekurangnya 30 menit pada temperatur udara, (10°C di bawah titik lembek yang diperkirakan). waktu dari saat benda uji dituang sampai benda uji dilepaskan dari pelat persiapan benda uji tidak boleh lebih dari 240 menit;
4. Bila benda uji telah dingin, potong bagian aspal yang berlebih di atas cincin dengan pisau atau spatula panas, sehingga lapisan aspal pada cincin penuh dan rata dengan bagian atas cincin;
5. Siapkan peralatan, benda uji, pengarah bola dan termometer. Isi bejana perendam dengan cairan perendam sampai dengan 105 ± 3 mm, masukkan peralatan pada tempatnya dalam bak perendam;
6. Tempatkan dua bola baja pada dasar bak perendam dengan menggunakan penjepit, agar benda uji memperoleh temperatur yang merata;
7. Tempatkan bejana perendam dan peralatan di dalamnya pada air es di dalam bak perendam, pertahankan temperatur perendaman selama 15 menit. Jaga dengan hati-hati tidak terjadinya kontaminasi antara cairan perendam dalam bejana dengan air es dalam bak perendam;
8. Letakkan bola baja yang telah dikondisikan dalam bak perendam menggunakan penjepit di atas alat pengarah bola;
9. Panaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit. Kecepatan rata-rata pemanasan tidak berlebih selama proses pengujian, maksimum variasi kenaikan temperatur untuk periode 1 menit pertama

sampai menit ke 3 adalah $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Kenaikan kecepatan temperatur di luar batas yang diizinkan harus diulang;

10. Catat temperatur pada saat bola yang diselimuti aspal jatuh menyentuh pelat dasar. Tidak ada koreksi untuk temperatur pemanasan. Bila perbandingan antara 2 temperatur pada saat bola baja yang diselimuti aspal jatuh menyentuh pelat dasar terdapat perbedaan melebihi 1°C , ulangi pengujian titik lembek.

d) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 06-2433-2011)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala) dan suhu saat terlihat nyala sekurang – kurangnya 5 detik (titik bakar).

Cara pengujian titik nyala dan titik bakar adalah sebagai berikut:

1. Panaskan contoh bahan yang keras atau semi padat sampai cair. Temperatur pemanasan contoh uji tidak boleh lebih dari 150°C ;
2. Isi cawan cleveland dengan contoh uji sampai garis batas pengisian, dan tempatkan cawan cleveland di atas pelat pemanas. Bila benda uji diisi berlebih pada cawan cleveland, pindahkan bagian yang berlebih dengan pipet atau alat lainnya untuk menghindari bagian yang meleleh. Bila ada bagian aspal yang menempel pada bagian luar cawan, bersihkan. Hilangkan gelembung udara atau busa yang terjadi pada permukaan benda uji dengan pisau yang tajam atau alat pemotong lainnya dan pertahankan tinggi benda uji. Bila busa tetap ada sampai tahap akhir dari pengujian, pengujian dihentikan dan diulang;
3. Nyalakan api penguji dan atur diameter api penguji antara 3,2 mm sampai dengan 4,8 mm, atau nyala api penguji seukuran dengan ujung pipa api penguji;
4. Lakukan dengan hati-hati penggunaan gas untuk nyala api penguji. Bila api penguji padam, gas untuk nyala penguji akan mempengaruhi hasil uji;
5. Teknisi harus berhati-hati selama melakukan pengujian ini. Aspal dengan titik nyala rendah dapat menyala besar seketika. Selain itu pengujian sampai dengan temperatur 400°C dapat mengeluarkan uap beracun;
6. Lakukan pemanasan awal dengan kenaikan temperatur antara 14°C sampai dengan 17°C per menit sampai benda uji mencapai temperatur 56°C di bawah titik nyala- perkiraan. Kurangi pemanasan hingga kecepatan kenaikan temperatur antara 5°C sampai dengan 6°C sampai benda uji mencapai temperatur 28°C dibawah titik nyala-perkiraan;
7. Gunakan nyala penguji pada waktu temperatur benda uji mencapai lebih kurang 28°C di bawah titik nyala-perkiraan dan lintaskan api penguji setiap kenaikan temperatur 2°C . Lintasan api penguji mengikuti garis lengkung yang mempunyai jari-jari minimum $150\text{ mm} \pm \text{mm}$;
8. Api penguji harus bergerak horizontal dan jarak dengan tepi atas cawan tidak lebih dari 2 mm. Waktu yang dibutuhkan api penguji untuk melintasi cawan kurang lebih 1 detik 0,1 detik;
9. Lakukan pemanasan dari temperatur 28°C di bawah titik nyala-perkiraan sampai titik nyala-perkiraan untuk menghindari terganggunya nyala api penguji akibat pengaruh angin di atas uap pada cawan cleveland lakukan lintasan api penguji dengan cepat dan hati-hati;
10. Bilamana terjadi pembusaan dipermukaan benda uji sampai temperatur 28°C di bawah titik nyala-perkiraan, pengujian dihentikan dan diulang;
11. Perhatikan besarnya nyala api penguji, kecepatan kenaikan temperatur dan kecepatan gerakan api penguji di atas benda uji;

catatan : Bila titik nyala-perkiraan aspal belum diketahui, maka lakukan pengujian pendahuluan dengan temperatur tidak lebih dari 50°C , atau bila aspal harus dicairkan terlebih dahulu untuk penuangan, maka lakukan pengujian pendahuluan dengan temperatur awal mulai dari temperatur penuangan 150°C .

Lakukan pemanasan sesuai Butir 12.6) dengan kecepatan 5°C sampai dengan 6°C per menit dan lintaskan nyala api penguji sesuai Butir 12.7) paling sedikit setiap kenaikan temperatur 2°C sampai diperoleh titik nyala.

12. Catat hasil pengujian titik nyala yang diperoleh dari pembacaan termometer pada saat benda uji mulai menyala;
13. Untuk menentukan titik bakar, lanjutkan pemanasan pada benda uji setelah titik nyala dicatat, kenaikan temperatur 5°C sampai dengan 6°C per menit. Teruskan penggunaan nyala penguji pada interval kenaikan temperatur 2°C sampai benda uji menyala dan terbakar minimal 5 detik. Catat temperatur tersebut sebagai titik bakar benda uji.

Pembuatan Benda Uji

Berikut ini adalah proses pembuatan benda uji berdasarkan SNI 06-2489-1991 :

- a. Menyiapkan semua bahan benda uji yaitu aspal, agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan bahan tambahan getah damar mata kucing yang sudah dimasukkan ke dalam plastik sesuai dengan komposisi yang sudah direncanakan;
- b. Menyiapkan semua peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pencampuran aspal lapis beton;
- c. Memanaskan aspal beserta getah damar mata kucing diatas suhu 110°C sebelum di campur dengan agregat;
- d. Memanaskan agregat di atas suhu 110°C ;
- e. Setelah semua bahan mencapai suhu yang telah ditentukan, kemudian dilakukan pencampuran antara aspal dengan agregat. Semua bahan di jadikan satu dan diaduk-aduk sampai tercampur merata sehingga mencapai suhu sekitar 160°C
- f. Menyiapkan cetakan benda uji (mould) beserta alas cetakan yang sudah diolesi pelumas dan dipanaskan. Kemudian menyiapkan 2 lembar kertas saring yang di gunakan di bagian dasar cetakan dan di bagian atas campuran sebelum penumbukan.
- g. Memasukan semua bahan yang sudah tercampur dan pada suhu maksimal pencampuran ke dalam cetakan sambari ditusuk-tusuk dengan spatula yang sudah dipanaskan sebelumnya. Penusukan dengan alat spatula ini dilakukan dengan prosedur menusuk bagian pinggir sebanyak 15 kali dan bagian tengah sebanyak 10 kali.
- h. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan penumbukan pada campuran yang telah dimasukan pada cetakan sebanyak 75 kali kemudian diganti permukaan lainnya sebanyak 75 kali.
- i. Setelah dilakukan penumbukan, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji.
- j. Setelah benda uji dilepaskan dari cetakan kemudian lepaskan kertas saring lalu berikan tanda pengenal agar tidak tertukar dengan yang lain. kemudian benda uji didiamkan selama 24 jam hingga mencapai keadaan suhu ruang.
- k. Setelah benda uji mencapai suhu ruang, maka selanjutnya mengukur tinggi dan diameter benda uji.
- l. Timbang setiap benda uji untuk mendapatkan nilai berat uji kering.
- m. Benda uji kemudian direndam selama kurang lebih 24 jam.
- n. Setelah direndam kurang lebih 24 jam, kemudian dikeluarkan dari bak perendaman lalu di timbang dalam air untuk mendapatkan nilai berat dalam air.

- o. Benda uji di keluarkan dari bak timbangan dalam air, kemudian permukaan benda uji dilap untuk mendapatkan keadaan kering permukaan serta segera ditimbang untuk mendapatkan nilai dari SSD (saturated surface dry).
- p. Kemudian dilakukan pengujian dengan alat marshall terhadap masing-masing benda uji.

Pengujian Benda Uji Dengan Alat Marshall Test

Menurut Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991) Langkah-langkah pengujian menggunakan alat marshall adalah sebagai berikut:

- a. Merendam benda uji dalam bak perendaman (Water bath) selama 30 menit dengan suhu tetap $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- b. Mengeluarkan benda uji dari water bath dan letakan kedalam segmen bawah kepala penekan;
- c. Memasang segmen atas di atas benda uji, dan letakan keseluruhannya dalam mesin penguji;
- d. Memasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan;
- e. Sebelum pembebanan diberikan, menaikkan kepala penekan beserta benda ujinya sehingga menyentuh alas cincin penguji;
- f. Mengatur jarum arloji pada kedudukan angka nol;
- g. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm permenit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurut seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan mencatat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm.
- h. Mencatat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukuran alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Prof Dr. Hazairin, SH untuk penelitian Tugas Akhir ini maka Peneliti memperoleh hasil sebagai berikut.

Pengujian Agregat

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata -Rata	Satuan
Berat benda uji kering oven	Bk	298,5	289,5		gram
Berat Piknometer + Air	B	648,0	650,3		gram
Berat benda uji kondisi SSD	Bs	306	299		gram

Berat piknometer + Benda uji kondisi SSD + air	Bt	840,5	850,8		gram
Berat jenis (Bulk Specific Gravity)	BJ	2,63	2,94	2,78	
BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,70	3,04	2,87	
Berat Jenis Semu Apparent)	BJs	2,82	3,25	3,03	
Penyerapan (Absorption)		2,51	3,28	2,90%	

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Hasil perhitungan sebagai berikut :

- Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 1} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{298,5}{(648,0 + 306 - 840,5)} \\ &= 2,63 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{289,5}{(650,3 + 299 - 850,8)} \\ &= 2,94 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{Uji 1} + \text{Uji 2}}{2} \\ &= \frac{2,63 + 2,94}{2} \\ &= 2,78 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

- Berat kering permukaan jenuh (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 1} &= \frac{Bs}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{306}{(648,0 + 306 - 840,5)} \\ &= 2,70 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{Bs}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{299}{(650,3 + 299 - 850,8)} \\ &= 3,04 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata - Rata} &= \frac{U_{j1} + U_{j2}}{2} \\ &= \frac{2,70 + 3,04}{2} \\ &= 2,87 \text{ gr/cc}\end{aligned}$$

- Berat jenis semu (Apparent)

$$\begin{aligned}\text{Sampel Uji 1} &= \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \\ &= \frac{298,5}{(648,0 + 298,5 - 840,5)} \\ &= 2,82 \text{ gr/cc}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sampel Uji 2} &= \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \\ &= \frac{289,5}{(650,3 + 289,5 - 850,8)} \\ &= 3,25 \text{ gr/cc}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata - Rata} &= \frac{u_{j1} + u_{j2}}{2} \\ &= \frac{2,82 + 3,25}{2} \\ &= 3,03 \text{ gr/cc}\end{aligned}$$

- Penyerapan (Absorption)

$$\begin{aligned}\text{Sampel Uji 1} &= \frac{(B_s - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(306 - 298,5)}{298,5} \times 100\% \\ &= 2,51\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sampel Uji 2} &= \frac{(B_s - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(299 - 289,5)}{289,5} \times 100\% \\ &= 3,28 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata - Rata} &= \frac{u_{j1} + u_{j2}}{2} \\ &= \frac{2,51 + 3,28}{2} \\ &= 2,90 \%\end{aligned}$$

Keterangan :

Bk= Berat Benda Uji Kering Oven (gram)
B = Berat Piknometer + air

Bs = Berat Benda Uji Kondisi SSD (gram)
Bt = Berat Piknometer + Benda Uji Kondisi SSD + Air (gram)

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat medium dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata -Rata	Satuan
Berat benda uji kering oven	Bk	241,0	240,7		Gram
Berat Piknometer + Air	B	658,0	650,3		Gram
Berat benda uji kondisi SSD	Bs	245,0	247,9		Gram
Berat piknometer + Benda uji kondisi SSD + air	Bt	825,9	828,6		Gram
Berat jenis (Bulk Specific Gravity)	BJ	3,13	3,46	3,29	
BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	3,18	3,56	3,37	
Berat Jenis Semu Apparent)	BJs	3,30	3,86	3,58	
Penyerapan (Absorption)		1,66	2,99	2,32%	

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025)

Hasil perhitungan sebagai berikut :

- Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 1} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{241,0}{(658,0 + 245,0 - 825,9)} \\ &= 3,13 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\ &= \frac{240,7}{(650,3 + 247,9 - 828,6)} \\ &= 3,46 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{Uji 1} + \text{Uji 2}}{2} \\ &= \frac{3,13 + 3,46}{2} \\ &= 3,29 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

- BJ Kering Permukaan Jenuh (SSD)

$$\text{Sampel Uji 1} = \frac{Bs}{(B + Bs - Bt)}$$

$$= \frac{245,0}{(658,0 + 245,0 - 825,9)}$$

$$= 3,18 \text{ gr/cc}$$

Sampel Uji 2

$$= \frac{Bs}{(B + Bs - Bt)}$$

$$= \frac{247,9}{(650,3 + 247,9 - 828,6)}$$

$$= 3,56 \text{ gr/cc}$$

Rata – Rata

$$= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2}$$

$$= \frac{3,18 + 3,56}{2}$$

$$= 3,37 \text{ gr/cc}$$

- Berat Jenis Semu (Apparent)

Sampel Uji 1

$$= \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$$

$$= \frac{241,0}{(658,0 + 241,0 - 825,9)}$$

$$= 3,30 \text{ gr/cc}$$

Sampel Uji 2

$$= \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$$

$$= \frac{240,7}{(650,3 + 240,7 - 828,6)}$$

$$= 3,86 \text{ gr/cc}$$

Rata – Rata

$$= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2}$$

$$= \frac{3,30 + 3,86}{2}$$

$$= 3,58 \%$$

- Penyerapan (Absorption)

Sampel Uji 1

$$= \frac{(Bs - Bk)}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{(245,0 - 241,0)}{241,0} \times 100\%$$

$$= 1,66 \%$$

Sampel Uji 2

$$= \frac{(Bs - Bk)}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{(247,9 - 240,7)}{240,7} \times 100\%$$

$$= 2,99 \%$$

Rata – Rata

$$= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2}$$

$$= \frac{1,66 + 2,99}{2}$$

$$= 2,32 \%$$

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata -Rata	Satuan
Berat benda uji kering oven	Bk	200,5	201,7		Gram
Berat Piknometer + Air	B	651,4	650,3		Gram
Berat benda uji kondisi SSD	Bs	206,0	204,5		Gram
Berat piknometer + Benda uji kondisi SSD + air	Bt	779,5	771,5		Gram
Berat jenis (Bulk Specific Gravity)	BJ	2,57	2,42	2,50	
BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,64	2,45	2,55	
Berat Jenis Semu Apparent)	BJs	2,77	2,51	2,64	
Penyerapan (Absorption)		2,74	1,39	2,07%	

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025)

Hasil perhitungan sebagai berikut :

- Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)

$$\begin{aligned}
 \text{Sampel Uji 1} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\
 &= \frac{200,5}{(651,4 + 206,0 - 779,5)} \\
 &= 2,57 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sampel Uji 2} &= \frac{Bk}{(B + Bs - Bt)} \\
 &= \frac{201,7}{(650,3 + 204,5 - 771,5)} \\
 &= 2,42 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2} \\
 &= \frac{2,57 + 2,42}{2} \\
 &= 2,50 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

- BJ Kering Permukaan Junuh (SSD)

$$\begin{aligned}
 \text{Sampel Uji 1} &= \frac{Bs}{(B + Bs - Bt)} \\
 &= \frac{206,0}{(651,4 + 206,0 - 779,5)} \\
 &= 2,64 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{B_s}{(B + B_s - B_t)} \\ &= \frac{204,5}{(650,3 + 204,5 - 771,5)} \\ &= 2,45 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2} \\ &= \frac{2,64 + 2,45}{2} \\ &= 2,55 \% \end{aligned}$$

• Berat Jenis Semu (Apparent)

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 1} &= \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \\ &= \frac{200,5}{(651,4 + 200,5 - 779,5)} \\ &= 2,77 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \\ &= \frac{201,7}{(650,3 + 201,7 - 771,5)} \\ &= 2,51 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2} \\ &= \frac{2,77 + 2,51}{2} \end{aligned}$$

$$= 2,64 \text{ gr/cc}$$

• Penyerapan (Absorption)

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 1} &= \frac{(B_s - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(206,0 - 200,5)}{200,5} \times 100\% \\ &= 2,74 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel Uji 2} &= \frac{(B_s - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(204,5 - 201,7)}{201,7} \times 100\% \\ &= 1,39 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\text{uji 1} + \text{uji 2}}{2} \\ &= \frac{2,74 + 1,39}{2} \\ &= 2,07 \% \end{aligned}$$

Keterangan :

Bk= Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

B = Berat Piknometer + air

Bs = Berat Benda Uji Kondisi SSD (gram)

Bt= Berat Piknometer + Benda Uji Kondisi SSD + Air (gram)

Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka keausan agregat yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen, hasil perhitungan keausan agregat dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Benda Uji		500 putaran	
Saringan		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
Lewat	Tertahan		
50,8 mm (2 ”)	37,5 mm (1 ½ ”)	-	-
37,5 mm (1 ½ ”)	25,4 mm (1 ”)	-	-
25,4 mm (1 ”)	19,0 mm (¾ “)	-	-
19,0 mm (¾ “)	12,5 mm (½ ”)	2500	-
12,5 mm (½ ”)	9,5 mm (⅜ “)	2500	-
9,5 mm (⅜ “)	6,3 mm (¼ ”)	-	-
6,3 mm (¼ ”)	4,75 mm (no.4)	-	-
Jumlah Berat		5000	
Berat Tertahan Saringan No. 12			3899
Nilai Keausan (Syarat ≤ 40%)			22,02 %

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Hasil perhitungan sebagai berikut :

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

$$= \frac{5000 - 3899}{5000} \times 100\%$$

$$= 22,02 \%$$

Keterangan :

- a = Berat Benda Uji Semula (gram)
- B = Berat Benda Uji Tertahan Saringan No. 12 (gram)

Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan adalah pengelompokan besar butir analisis agregat kasar dan agregat halus menjadi komposisi gabungan yang ditinjau berdasarkan saringan, hasil analisis saringan agregat halus dan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui batas gradasi agregat tersebut. Pada penelitian ini dilakukan tiga pengujian benda uji, yaitu pengujian analisa saringan agregat kasar, pengujian analisa saringan agregat medium dan pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil dari pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.4, tabel 4.5 dan tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4. 5 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar(Ca).

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	82,60	8,26	8,26	91,74
3/8"	342,50	34,25	42,51	57,49
4	271,50	27,15	69,66	30,34

8	134,60	13,46	83,12	16,88
16	79,50	7,95	91,07	8,93
30	35,20	3,52	94,59	5,41
50	24,50	2,45	97,04	2,96
100	9,20	0,92	97,96	2,04
200	12,30	1,23	99,19	0,81
pan	8,10	0,81	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00		

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Tabel 4. 6 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Medium (Ma).

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	22,40	2,24	2,24	97,76
3/8"	75,20	7,52	9,76	90,24
4	175,70	17,57	27,33	72,67
8	356,20	35,62	62,95	37,05
16	186,50	18,65	81,60	18,40
30	108,50	10,85	92,45	7,55
50	43,60	4,36	96,81	3,19
100	18,30	1,83	98,64	1,36
200	9,00	0,90	99,54	0,46
pan	4,60	0,46	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00		

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Tabel 4. 7 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus (Fa).

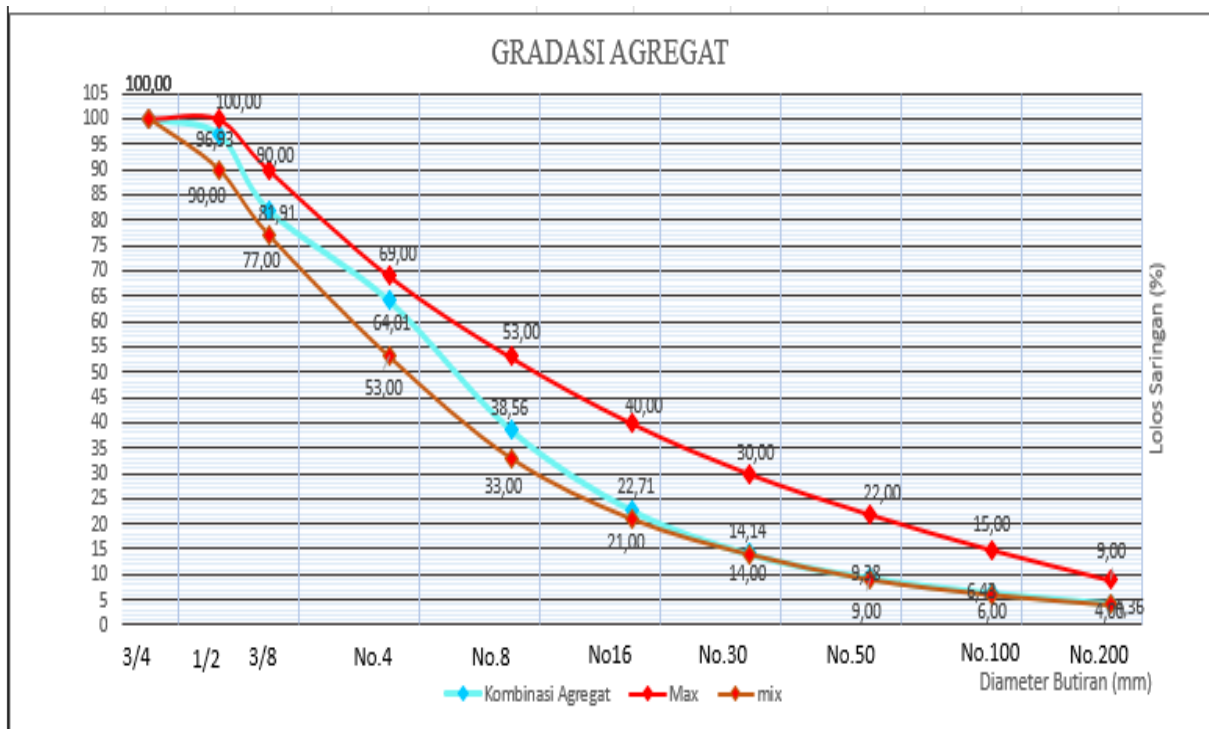
No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	74,60	7,46	7,46	92,54
4	125,10	12,51	19,97	80,03
8	285,90	28,59	48,56	51,44
16	209,00	20,90	69,46	30,54
30	113,20	11,32	80,78	19,22
50	72,20	7,22	88,00	12,00
100	56,00	5,60	93,60	6,40
200	38,00	3,80	97,40	2,60
pan	26,00	2,60	100,00	0,00
Total	1000	100,00		

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Hasil kombinasi campuran agregat dapat di lihat pada tabel 4.8 dibawah ini :

PENCAMPURAN AGREGAT											
URAIAN	UKURA										
	3/4'	1/2'	3/8'	No.4	No.8	No16	No.30	No.50	No.100	No.200	
Inc mm	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,149	0,075	
Data Material											
Agregat 1,0-2,0	100,00	91,74	57,49	30,34	16,88	8,93	5,41	2,96	2,04	0,81	
Agregat 0,5-1,0	100,00	97,76	90,24	72,67	37,05	18,40	7,55	3,19	1,36	0,46	
Abu Batu 0-0,5	100,00	100,00	92,54	80,03	51,44	30,54	19,22	12,00	6,40	2,60	
Filler Cement	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Komposisi Campuran											
Agregat 1,0-2,0	29%	29,00	26,60	16,67	8,80	4,90	2,59	1,57	0,86	0,59	0,23
Agregat 0,5-1,0	30%	30,00	29,33	27,07	21,80	11,12	5,52	2,27	0,96	0,41	0,14
Abu Batu 0-0,5	38%	38,00	38,00	35,17	30,41	19,55	11,61	7,30	4,56	2,43	0,99
Filler Cement	3%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Total Campuran	100%	100,00	96,93	81,91	64,01	38,56	22,71	14,14	9,38	6,43	4,36
Spec.gradasi											
Max	100,00	100,00	90,00	69,00	53,00	40,00	30,00	22,00	15,00	9,00	
Komposisi Campuran	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	MEMENUHI	
Mix	100,00	90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00	4,00	

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)



Gambar 4. 1 Hasil Kombinasi Agregat Standar
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025

Pengujian Aspal

Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian penetrasi aspal menggunakan nilai minimum 60 dan nilai maximum 70, data hasil pengujian penetrasi aspal 60/70 dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 8 Hasil Penetrasi Aspal 60/70

Penetrasi pada suhu 25°C	Pemeriksaan I	Pemeriksaan II	Keterangan
100 gr, 5 detik			
1	63	65	
2	67	69	
3	66	68	
4	69	67	
5	62	64	
Rata-rata	65,4	66,6	66

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025)

Hasil Perhitungan :

$$\text{Benda Uji I} = \frac{63 + 67 + 66 + 69 + 62}{5} = 65,4$$

$$\text{Benda Uji II} = \frac{65 + 69 + 68 + 67 + 64}{5} = 66,6$$

$$\text{Penetrasi rata-rata} = \frac{65,4 + 66,6}{2} = 66$$

Pemeriksaan Berat Jenis

Hasil pemeriksanan berat jenis aspal dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini :

Tabel 4. 9 Hasil Pemeriksaan Beras Jenis

Pengujian	Benda Uji I (Gram)	Benda Uji II (Gram)	Rata-Rata
Berat Piknometer + air (B)	362,20	367,00	364,60
Berat Piknometer (A)	167,00	168,70	166,50
Berat air (isi Piknometer) (C=B-A)	195,20	198,30	196,75
Berat Piknometer + contoh (D)	224,50	231,60	228,05
Berat Piknometer (A)	167,80	168,70	166,50
Berat contoh (E = D - A)	56,70	62,90	59,80
Berat Piknometer + air + contoh (F)	371,00	372,50	371,75
Berat Piknometer + contoh (D)	224,50	231,60	228,05
Berat air (G = F - D)	146,50	140,90	143,70
Isi Bitumen (I = C - G)	48,70	57,40	55,05
Berat jenis bitumen (H = E / I)	1,16	1,10	1,13

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025)

Hasil perhitungan berat jenis :

- Sampel uji 1

$$= \frac{E}{I}$$

$$= \frac{56,70}{48,70}$$

$$= 1,16 \text{ gr/cc}$$

- Sampel uji 2
$$= \frac{E}{I}$$

$$= \frac{62,90}{57,40}$$

$$= 1,10 \text{ gr/cc}$$
- Berat jenis rata-rata
$$= \frac{1,16 + 1,10}{2}$$

$$= 1,13$$

Pengujian Titik Lembek Aspal

Hasil pengujian titik lembek aspal dapat dilihat pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)		KET
		I	II	I	II	
1.	30	"00'00"00"	"00'00"00"			
2.	35	"05'15"70"	"05'15"70"			
3.	40	"10'15"22"	"09'15"22"			
4.	45	"15'36"15"	"14'36"15"			
5.	50	"18'08"80"	"17'08"80"			
6.	55	"19'28"60"	"18'28"60"	53		54,5 °C
7.	60	"20'52"12"	"19'52"12"		56	

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Dari perhitungan diatas nilai rata-rata titik lembek aspal adalah 54,5 °C.

Pengujian Titik Nyala Aspal

Titik nyala dan titik bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Hasil dari pengujian titik lembek dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal

°C dibawahtitik nyala	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Titik nyala	KET
56		205		
51		210		
46		215		
41		220		
36		225		
37		230		
38		235		
39		240		
40	31	245	245 °C	
41		250		
42		255		
43		260		

(Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025)

Pengujian Marshal

Pengujian marshall dilakukan untuk mengetahui stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Kadar Aspal Optimum (KAO)

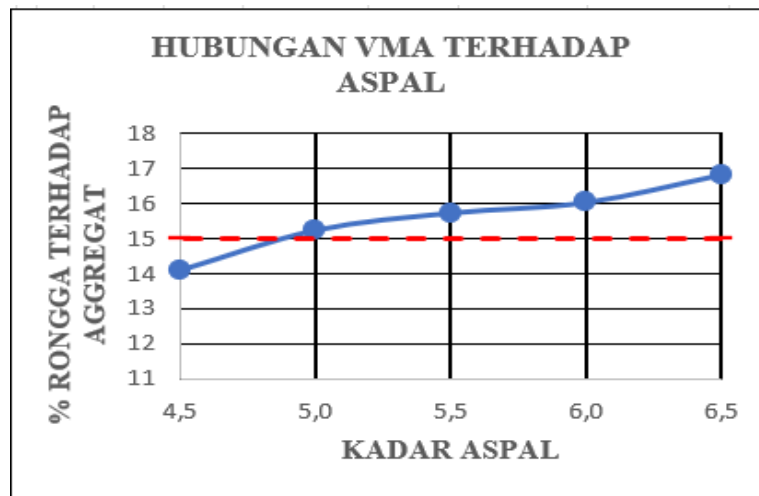
Pengujian yang dilakukan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum dari campuran AC-WC yang telah memenuhi persyaratan parameter marshall dapat dilihat dibawah ini :

- a. $4,5\% \times 1000 = 45$ gram
- b. $5,0\% \times 1000 = 50$ gram
- c. $5,5\% \times 1000 = 55$ gram
- d. $6,0\% \times 1000 = 60$ gram
- e. $6,5\% \times 1000 = 65$ gram

Dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran aspal Laston AC-WC menggunakan parameter karakteristik marshall standar. Pembahasan hasil pengujian marshall standar untuk menentukan KAO diantaranya terdiri dari Void Mineral Agregat (VMA), Void Filled Asphalt (VFA), Void In the Mix (VIM), Stabilitas, Flow (Kelelahan), dan Marshall Quotien (MQ), yang akan dibahas sebagai berikut.

Void Mineral Agregat (VMA)

Void Mineral Agregat (VMA) merupakan jumlah pori butir-butir agregat aspal padat antara rongga udara yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Berikut ini nilai Void Mineral Agregat (VMA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:

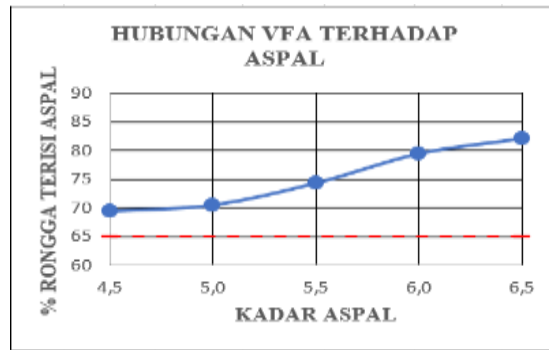


Gambar 4. 2 Hubungan VMA Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.2 diperoleh nilai VMA yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 15 yaitu dengan nilai kadar Aspal 5% (15,24), 5,5% (15,75), 6% (16,03) dan 6,5% (16,82).

Void Filled Asphalt (VFA)

Void Filled Asphalt (VFA) merupakan persentase yang didapat dari VMA yang telah terisi oleh aspal yaitu rongga terisi aspal, tidak termasuk kedalam aspal yang diserap oleh agregat melainkan menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran. Berikut ini nilai Void Filled Asphalt (VFA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4. 3 Hubungan VFA Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.3 diperoleh nilai VFA dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 .

Void In the Mix (VIM).

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang didapatkan pada suatu campuran, semakin besar rongga dalam campuran akan menunjukkan semakin tinggi VIM sehingga campuran bersifat porous. Berikut ini nilai VIM pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 Hubungan VIM Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.4 diperoleh nilai VIM yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 3 - 5 yaitu dengan nilai kadar aspal 4,5% (4,3) 5% (4,5), 5,5% (4,0), 6% (3,3) dan 6,5% (3,2).

Stabilitas

Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kelelahan plastis terhadap ketahanan pada campuran. Berikut ini nilai stabilitas pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.

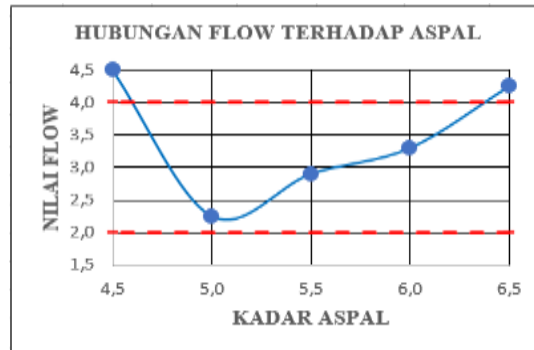


Gambar 4. 5 Hubungan Stabilitas Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.5 diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada Stabilitas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 .

Flow (Kelelahan).

Flow merupakan penurunan vertical campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Semakin tinggi nilai flow maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan dikarenakan kadar aspal. Semakin rendah flow maka akan semakin kaku. Berikut nilai Flow hasil pengujian dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.

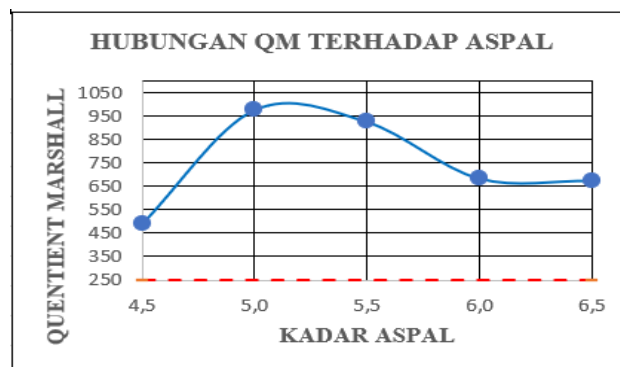


Gambar 4. 6 Hubungan Flow Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.6 diperoleh nilai Flow yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 – 4 mm yaitu dengan nilai kadar aspal 5% (2,3), 5,5% (2,9) dan 6% (3,3).

Marshall Quantient (MQ).

Marshall Quantien MQ merupakan hasil bagi Stabilitas antara Flow pada campuran. Semakin rendah nilai MQ maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil, begitupun sebaliknya. Berikut ini nilai MQ pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4. 7 Hubungan QM Terhadap Kadar Aspal
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.7 diperoleh nilai MQ dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 .

Kadar Penambahan Optimum (KPO)

Kadar Aspal yang digunakan untuk menentukan KPO merupakan hasil KAO yaitu 5,5% yang akan di tambahkan abu limbah bonggol jagung dari berat jenis aspal 5,5%. Kadar Penambahan abu limbah bonggol jagung yang akan digunakan sebagai berikut :

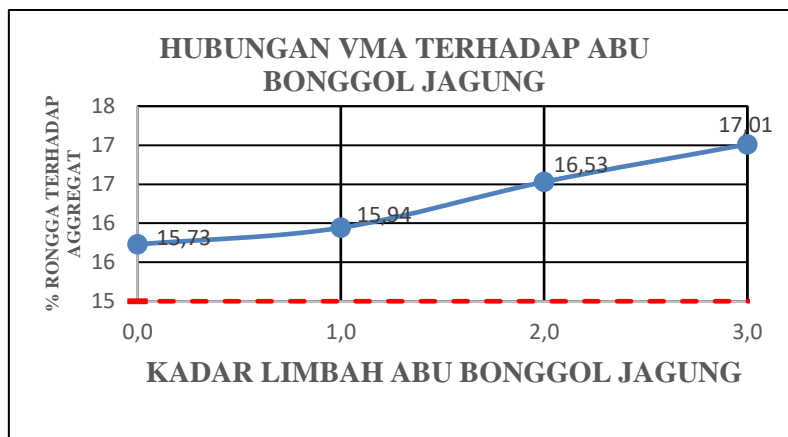
- $0\% \times 30 = 0$ gram
- $1\% \times 30 = 0,3$ gram

- c. $2\% \times 30 = 0,6$ gram
- d. $3\% \times 30 = 0,9$ gram

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik Marshall standar dengan penambahan abu limbah bonggol jagung, adapun pembahasan hasil pengujian marshall standar untuk menentukan KPO diantaranya terdiri dari Void Mineral Agregat (VMA), Void Filled Asphalt (VFA), Void In the Mix (VIM), Stabilitas, Flow (Kelelehan), dan Marshall Quotien (MQ), yang akan dibahas sebagai berikut.

Void Mineral Agregat (VMA)

Void Mineral Agregat (VMA) merupakan jumlah pori butir-butir agregat aspal padat antara rongga udara yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Berikut ini nilai Void Mineral Agregat (VMA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini.

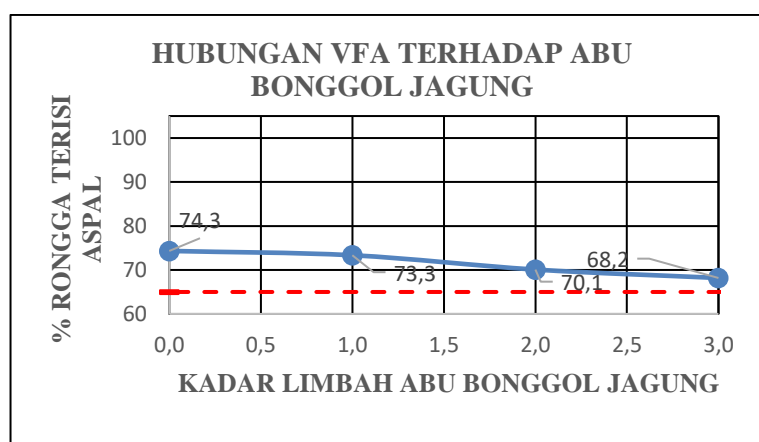


Gambar 4. 8 Hubungan VMA Terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.8 diperoleh nilai VMA yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 15 yaitu dengan nilai kadar abu limbah bonggol jagung 0% (15,94%), 1% (15,32%), 2% (16,53%) dan 3% (17,01%).

Void Filled Asphalt (VFA)

Void Filled Asphalt (VFA) merupakan persentase yang didapat dari VMA yang telah terisi oleh aspal yaitu rongga terisi aspal, tidak termasuk kedalam aspal yang diserap oleh agregat melainkan menyelimuti butir-butir agregat dalam campuran. Berikut ini nilai Void Filled Asphalt (VFA) pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.

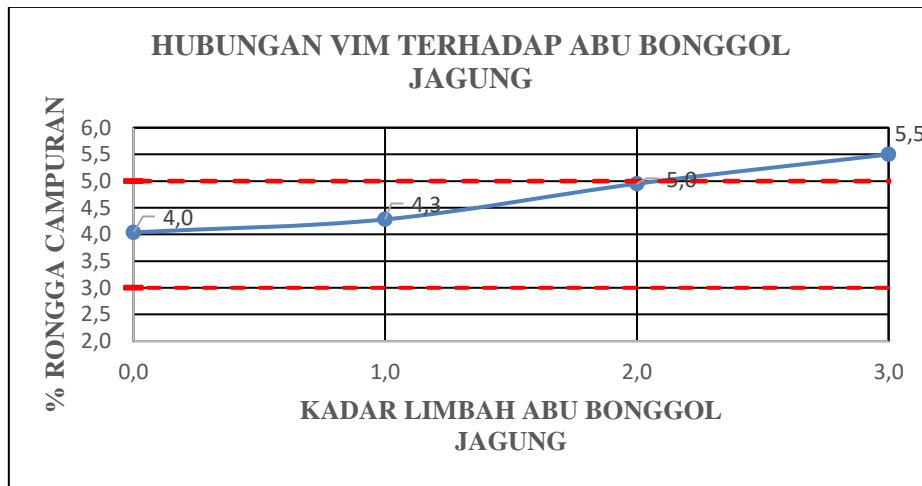


Gambar 4. 9 Hubungan VFA Terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.9 diperoleh nilai VFA terhadap abu limbah bonggol jagung memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 , yaitu dengan nilai kadar abu bonggol jagung 0% (73,8%), 1% (76,7%), 2% (70,1%) dan 3% (68,2%).

Void In the Mix (VIM).

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang didapatkan pada suatu campuran, semakin besar rongga dalam campuran akan menunjukkan semakin tinggi VIM sehingga campuran bersifat porous. Berikut ini nilai VIM pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.

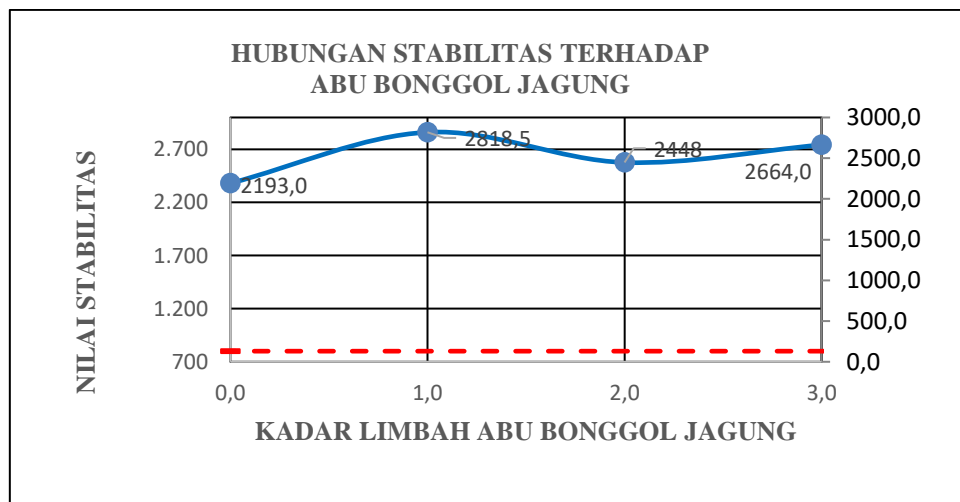


Gambar 4. 10 Hubungan VIM Terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.10 diperoleh nilai VIM yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 3% - 5% yaitu dengan nilai kadar limbah abu bonggol jagung 0% (4,3%), 1% (3,6%), dan 2% (5,0%).

Stabilitas.

Stabilitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kelelahan plastis terhadap ketahanan pada campuran. Berikut ini nilai stabilitas pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.

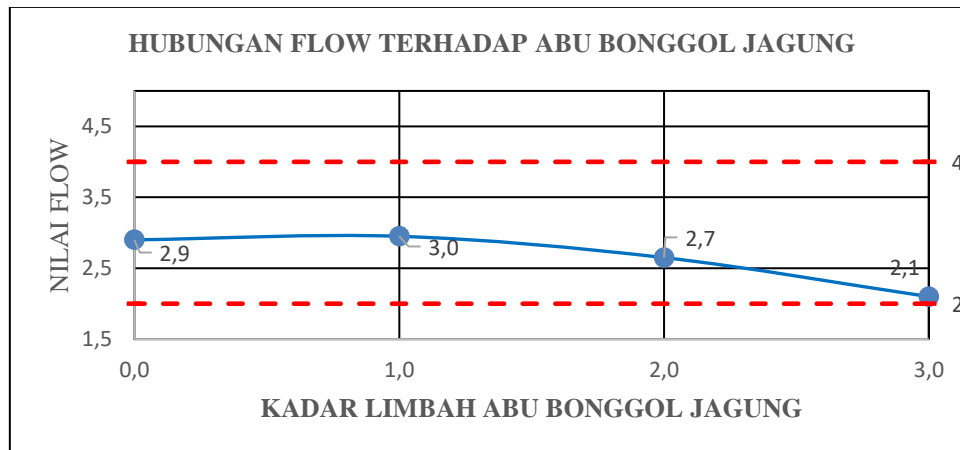


Gambar 4. 11 Hubungan Stabilitas Terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.11 diperoleh nilai Stabilitas yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 yaitu dengan nilai kadar abu bonggol jagung 0% (3129,2 kg), 1% (2397,8 kg), 2% (2448 kg) dan 3% (2664,0 kg).

Flow (Kelelahan).

Flow merupakan penurunan vertical campuran akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Semakin tinggi nilai flow maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan dikarenakan kadar aspal. Semakin rendah flow maka akan semakin kaku. Berikut nilai flow hasil pengujian dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini.

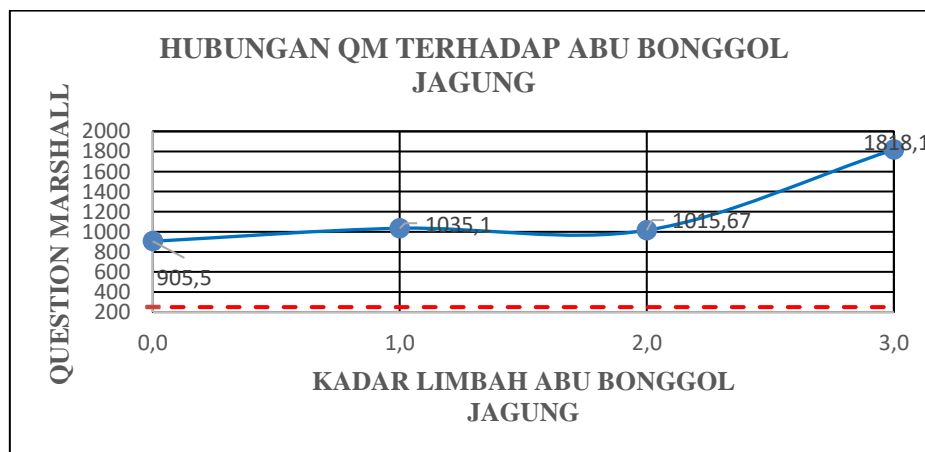


Gambar 4. 12 Hubungan Flow Terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.12 diperoleh nilai Flow yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 mm – 4 mm yaitu dengan nilai abu bonggol jagung 0% (2,9 mm) 1% (3,0 mm) 2% (2,7 mm) dan 3% (2,1 mm).

Marshall Quantient (MQ).

Marshall Quantien MQ merupakan hasil bagi Stabilitas antara Flow pada campuran. Semakin rendah nilai MQ maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil, begitupun sebaliknya. Berikut in inilai MQ pada hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4. 13 Hubungan MQ Terhadap Abu Bonggol Jagung
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025

Berdasarkan gambar 4.13 diperoleh nilai QM yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 yaitu dengan nilai kadar abu bonggol jagung 0% (905,5 kg), 1% (1035,1 kg), 2% (1015,67 kg) dan 3% (1818,1 kg).

Karakteristik Marshall.

Pembahasan dari hasil pengujian karakteristi marshall yang didapatkan sebagai berikut.

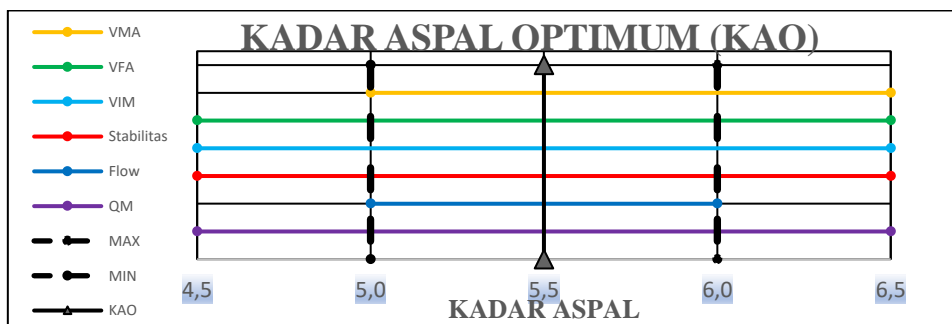
Kadar Aspal Optimum (KAO).

Berikut hasil pengujian Marshall untuk menentukan KAO yang dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.14 dibawah ini.

Tabel 4. 12 Hasil pengujian Marshall Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
1.	VMA (%)	≥ 15	14,09	15,24	15,73	16,03	16,82
2.	VFA (%)	≥ 65	69,3	70,4	74,3	79,5	82,2
3.	VIM (%)	3--5	4,3	4,5	4,0	3,3	3,2
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1822,7	1733,8	2193,0	1693,6	2395,3
5.	Flow (mm)	2--4	4,5	2,3	2,9	3,3	4,3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	488,5	976,4	926,3	683,8	674,2

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025)



Gambar 4. 14 Grafik Kadar Aspal Optimum

Sumber : Hasil penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNHAZ, 2025

Dari hasil pembahasan karakteristik marshall diatas dapat dilihat bahwa setelah melakukan pengujian Marshall pada seluruh parameter Marshall yang memenuhi persyaratan KAO dari kadar aspal perancangan terletak pada kadar aspal 5%, adapun parameter Marshall dari Kadar Aspal Optimum 5,5% yaitu VMA 15,73%, VFA 74,3%, VIM 4,0%, Stabilitas 2193,0 kg, Flow 2,9 mm, dan Marshall Quotien 926,3 kg yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

Kadar Penambahan Optimum (KPO).

Berikut hasil pengujian Marshall untuk menentukan KPO yang dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.15 dibawah ini.

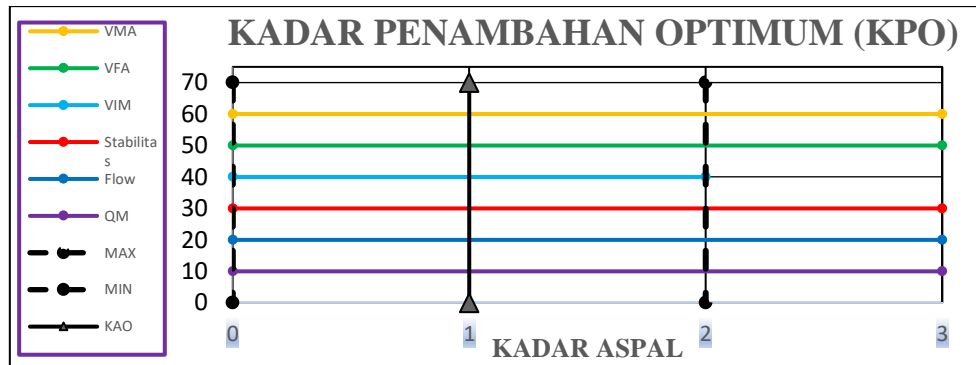
Tabel 4. 13 Hasil pengujian Marshall Kadar Penambahan Optimum (KPO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Limbah Abu Bonggol Jagung (%)			
			0	1	2	3
1.	VMA (%)	≥ 15	15,73	15,94	16,53	17,01
2.	VFA (%)	≥ 65	74,3	73,3	70,1	68,2
3.	VIM (%)	3--5	4,0	4,3	5,0	5,5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	2193,0	2818,5	2448	2664,0
5.	Flow (mm)	2--4	2,9	3,0	2,7	2,1
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	878,1	1150,3	1016	1818,1

(Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium Teknik Sipil Unihaz, 2025)

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.8450>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Gambar 4. 15 Grafik Kadar Penambah Optimum
Sumber : Hasil penelitian Laboratorium Teknik Sipil UNIHAZ, 2025

Dari hasil pembahasan karakteristik marshall diatas dapat dilihat bahwa setelah melakukan pengujian Marshall pada seluruh parameter Marshall yang memenuhi persyaratan KPO terdapat dua kadar penambahan Limbah Abu Bonggol Jagung yaitu 1% dan 2%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa Kadar Penambahan Optimum 1% memiliki nilai VMA 15,94%, VFA 73,3%, VIM 4,3%, Stabilitas 2531,4 kg, Flow 3,0 mm, dan Marshall Quotient 1035,1 kg sedangkan Kadar Penambahan Optimum 2% memiliki nilai VMA 16,53%, VFA 70,1%, VIM 5,0%, Stabilitas 2448 kg, Flow 2,7 mm, dan Marshall Quotient 1016 kg yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

Perbandingan Kadar Aspal Optimum dengan Kadar Penambahan

Optimum

Berikut pembahasan Perbandingan Kadar Aspal Optimum 5,5% yang digunakan dengan Kadar Penambahan Optimum Abu Limbah Bonggol Jagung dapat dilihat pada gambar 4.2. Berdasarkan gambar 4.2 diperoleh hasil perbandingan antara KAO 5,5% dengan KPO 1% - 2% terhadap Abu Limbah Bonggol Jagung mengalami pengaruh signifikan pada parameter Marshall, dari hasil penelitian yang tampak pada grafik bahwa semakin banyak persen abu limbah bonggol jagung mengakibatkan nilai VFA menurun berbanding terbalik dengan nilai VMA dan VIM yang meningkat sehingga mengakibatkan rendahnya kekakuan lapis keras mengalami retak.

Selain itu mudah terjadinya bleeding pada lapis keras dikarenakan terselimuti aspal terlalu tebal maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran pada nilai flow dengan stabilitas yang rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapatkan beban. Dari hasil pembahasan tersebut di dapatkan bahwa nilai flow yang meningkat dengan nilai stabilitas yang meningkat mempengaruhi turunnya nilai QM dikarenakan nilai QM hasil bagi stabilitas antara flow, semakin rendah nilai QM maka fleksibilitas campuran itu tinggi namun cenderung kurang stabil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran aspal AC-WC dengan penambahan Abu Limbah Bonggol Jagung dapat disimpulkan sebagai berikut: 1). Dari pengujian *marshall*, Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 5,5% pada campuran AC-WC *Asphalt Concrete-Wearing Course* dengan penambahan Abu Limbah Bonggol Jagung 0%, 1%, 2%, dan 3%, sehingga didapatkan Kadar Penambahan Optimum (KPO) Abu Limbah Bonggol Jagung sebesar 1% dan 2%.Maka dapat disimpulkan bahwa Kadar Penambahan Optimum 1% memiliki nilai VMA 15,94%, VFA 73,3%, VIM 4,3%, Stabilitas 2818,5 kg, *Flow* 3,0 mm, dan *Marshall Quotient* 1150,3 kg sedangkan Kadar Penambahan Optimum 2% memiliki nilai VMA 16,53%, VFA 70,1%, VIM 5,0%, Stabilitas 2447,9 kg, *Flow* 2,7 mm, dan *Marshall Quotient* 1015,7 kg. 2). Didapatkan persentase Kadar Penambahan Optimum (KPO) pada abu limbah bonggol jagung campuran AC-WC dengan nilai kadar 1% - 2% pada Kadar Aspal Optimum 5,5%. 3). Dari pengujian yang telah dilakukan pengaruh campuran AC-WC setelah ditambah Abu Limbah Bonggol Jagung mengalami pengaruh signifikan pada parameter *Marshall* menyebabkan nilai VFA menurun sedangkan nilai VMA, VIM, *Flow*, Stabilitas, QM meningkat seiring dengan bertambahnya Kadar Abu Limbah Bonggol Jagung pada kadar aspal optimum 5,5% yang memenuhi persyaratan yang telah ditentukan kadar penambahan 1% - 2%. Jika semakin banyak Abu Limbah Bonggol Jagung yang ditambahkan keKadar Aspal yang digunakan akan mempengaruhi rendahnya kualitas campuran AC-WC.

Referensi

1. Adam, A. F., & Sagita, B. H. (2021). [Judul artikel tidak tersedia]. 7(2), 5127–5134.
2. Suryanto & Nurokhman. (2022). *Evaluasi Properti Marshall Terhadap Mutu Aspal Beton Lapangan Pada Runway Bandara Yogyakarta International Airport*.
3. Dwi Nata & Dharmawansyah (n.d.) *HEXAGON (Jurnal Teknik dan Sains) PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU CANGKANG KEMIRI DAN ABU BONGGOL JAGUNG TERHADAP UJI KUAT TEKAN PADA PAVING BLOCK*. 5(2), 2721–3714.
4. Batari et al., (2024) *Studi Penggunaan Bonggol Jagung (Fruventum Cobs) Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Ac-Bc (Asphalt Concrete-Binder Course)*. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandan.
5. Warhamni et al. (n.d.) *ABSTRAK ANALISIS CAMPURAN AC-WC TERHADAP LIMBAH ABU BONGGOL JAGUNG SEBAGAI FILLER*
6. Yunita pane, Suhelmi, Desi Sri Pasca Sari. (2021). *Analisa Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai Filler Dengan Marshall Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC - WC)*.
7. Muhammad Rasyid Tahir. (2018). *ANALISA KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN FILLER YANG BERBEDA TERHADAP NILAI MARSHALL*.
8. Afirul, R. A., & Yuhanah, ; Tri. (2022). *Pemanfaatan Limbah Abu Tongkol Jagung Dan Bottom Ash Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving Block*. 11(2). <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v11i2.1834>
9. Alzahri, syahril, & Firmando, F. (n.d.). *USE OF CORN COB WASTE ASH AS A FILLER IN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)*.
10. Maulana Bramasta, A., Hasanuddin, A., Amri Wicaksono, L., Kalimantan, J., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, J., Teknik, F., & Jember, U. (n.d.). *Kinerja Marshall pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Marshall Performance of Split Mastic Asphalt Mixtures (SMA) Using Natural Cellulose Fiber Corn Cob*.
11. nasution muhammad. (n.d.). *INJAUAN KUAT TEKAN DAN LENTURDARI CAMPURAN BETON YANG MENGGUNAKAN ABU BONGGOL JAGUNG SEBAGAI PENGGANTISEBAGIAN AGREGAT HALUS*.
12. Sau'langi, A. S., & Tanje, H. W. (2021). *Pemanfaatan Abu Limbah Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi Filler Untuk Campuran AC-WC*. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(4), 587–594.
13. Senja Rum Harnaeni, P. E. K. (n.d.). *TINJAUAN VOID CAMPURAN ASPAL YANG DIPADATKAN MENGGUNAKAN ALAT PEMADAT ROLLER SLAB (APRS) DAN STAMPER*.
14. Spesifikasi umum bina marga 2018. (n.d.). *DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA SPESIFIKASI UMUM 2018*.
15. Sukirman 2016. (n.d.). *Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume*.
16. Syaifuddin. (2013). *ANALISA PARAMETER MARSHALL ASPAL BETON AC-WC*. *JURNAL PORTAL*, 5 NO. 2.