



ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS	Vol 8	No 2	Hal 66-138	Semarang, September 2025
------	-------	------	------------	--------------------------

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 8 Nomor 2 September 2025

Ketua Editor
(Editor in Chief) : Asri Nurdiana, ST, MT

Dewan Editor
(Editorial Board) : Prof. Ir. Mochamad Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.
Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Purwanto, M.T., M.Eng.
Helen Gianditha Wayangkau, ST, MT
Amanatullah Savitri, ST, M.Eng
Tri Sudibyo, S.T., M.Sc.

Sekretariat Redaksi
(Managing Editor) : Fardzanela Suwanto, S.T., M.Sc., Ph.D
Shifa Fauziyah, ST, MT

Layout Redaksi
(Layout Editor) : Shifa Fauziyah, ST, MT

Jurnal Proyek Teknik Sipil (Potensi) diterbitkan sejak 2018, dengan frekuensi 2 kali dalam satu tahun (Maret dan September). Redaksi Menerima karangan ilmiah tentang hasil-hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil. Submit artikel dilakukan melalui online Journal System (OJS) dengan alamat [http:// ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi](http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi).

Penerbit :
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Alamat Redaksi/Penerbit:
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Email : potensi@live.undip.ac.id
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telp. 081802444085

JURNAL PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 8 Nomor 2 September 2025

DAFTAR ISI

1. Uji Durabilitas Beton Normal Setelah Perendaman dalam Air Laut dan Pembakaran pada Suhu Tinggi
Sandika Arjuna, Yudhia Pratidina P, Elsa Rati Hariza 66-72
2. Analisis dan Desain Modifikasi Jembatan Rangka Busur Baja dengan Fluid Viscous Damper
Menggunakan SAP2000
**Muhamad Fauzan Akbari, Yohanes Hadi Saputra, Rizqi Alghiffary, Griselda Junianda Velantika,
Karina Melawati Eka Putri, Elok Dewi Widowati**.....73-87
3. Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kinerja Jalan (Studi Kasus: Mall Panakkukang Jl. Boulevard,
Kota Makasar)
Christy Agata Makupiola 88-96
4. Pengaruh Penggunaan *Filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri Terhadap Campuran *Asphalt Concrete
Wearing Course* (AC-WC)
M Taufik Akbar Syaputra, Sazuatmo, Tri Sefrus..... 97-113
5. Analisis Perencanaan Biaya Proyek Pembangunan Gedung Undiksha Berbasis *Building Information
Modelling* (BIM)
I Kadek Rio Parsana Arta, I Gusti Agung Gede Nodya Dharmastika, I Gusti Agung Putu Eryani
..... 114-120
6. Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan
Penggunaan Abu Kulit Kopi Sebagai *Filler*
Agus Budi Yanto, Sazuatmo, Elsa Rati Hariza121-132
7. Efektifitas Penggunaan Batu Gamping Sebagai Campuran Agregat Halus pada Base A
Tri Sefrus, Sazuatmo, Carles Pandu Wianata133-138

Uji durabilitas beton normal setelah perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu tinggi

Sandika Arjuna^{a*}, Yudhia Pratidina Pa, Elsa Rati Hariza^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

arjunasandika44@gmail.com

Keywords:

Compressive strength, density, durability of concrete, high temperature, porosity

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *This study aims to test the durability of normal concrete after exposure to a combination of two extreme conditions: immersion in seawater and burning at high temperatures (300°C, 400°C, and 500°C). The study is motivated by the vulnerability of structures in coastal areas to both aggressive chloride attacks and fire hazards. The concrete used was designed for 25 MPa compressive strength and tested at 28 days of age. Cylindrical specimens (15 cm diameter and 30 cm height) were immersed in seawater for 28 days, then burned in a drum furnace for 30 minutes at the specified temperatures. Testing included compressive strength, density, and porosity measurements. Results show significant deterioration at 500°C, moderate deterioration at 400°C, and minor deterioration at 300°C. This confirms the need for better durability strategies for concrete in extreme environments.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Dari berbagai jenis material konstruksi, beton dikenal sebagai yang paling sering digunakan secara global berkat performa mekaniknya yang andal, daya tahan yang tinggi, serta kemudahan dalam pembentukan dan aplikasinya. Namun, dalam penggunaannya, beton sering kali terpapar oleh berbagai kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti lingkungan laut yang mengandung ion klorida dan sulfat (Yulismawati et al., 2021), serta suhu tinggi yang dapat terjadi akibat kebakaran atau eksposur terhadap panas ekstrem (Arifin, 2014).

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh beton di lingkungan laut adalah penetrasi ion klorida yang memicu kerusakan berupa korosi pada komponen tulangan baja yang tertanam dalam beton. Menurut (Yulismawati et al., 2021) Disarankan agar beton yang digunakan di lingkungan asam memiliki sifat kuat tekan yang sangat baik, tahan terhadap penetrasi air, dan tahan lama. Struktur mikropori yang rapat sangat penting untuk mencegah masuknya ion asam, yang dapat mempercepat kerusakan beton. Studi yang dilakukan (Prabowo, 2017) menunjukkan bahwa akumulasi klorida dalam beton secara langsung berpengaruh terhadap percepatan proses korosi, menandakan hubungan yang erat antara kedua variabel tersebut. Korosi yang terjadi akibat ion klorida dapat menurunkan kekuatan struktur serta memperpendek umur layanan bangunan. Selain itu, lingkungan laut juga mengandung ion sulfat yang dapat bereaksi dengan komponen dalam pasta semen, menghasilkan ekspansi dan retak yang berkontribusi terhadap degradasi beton.

Selain lingkungan laut, beton juga dapat mengalami degradasi akibat eksposur terhadap suhu tinggi, seperti yang terjadi dalam kebakaran atau kondisi operasional tertentu di industri. Menurut (Arifin, 2014) semakin tinggi suhu yang diterapkan pada beton, maka semakin besar massa beton yang hilang akibat penguapan air dalam pori-porinya, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan densitas beton. Pada suhu tinggi, air yang tersimpan dalam rongga-rongga beton akan menguap, mengakibatkan peningkatan tekanan internal yang berpotensi menimbulkan retak dan pengurangan kekuatan beton. Selain itu, suhu tinggi juga dapat menyebabkan dekomposisi senyawa hasil hidrasi semen, yang berdampak pada berkurangnya ikatan antar partikel dan perubahan mikrostruktur beton. Penelitian yang dilakukan oleh Khoury (2000) dalam *Effect of Fire on Concrete and Concrete Structures* menunjukkan bahwa eksposur terhadap suhu tinggi dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam kekuatan tekan dan porositas beton, terutama pada suhu di atas 200°C.

Meskipun telah banyak penelitian terkait durabilitas beton dalam kondisi ekstrem, penelitian ini memiliki kebaruan dalam menggabungkan dua faktor utama, yaitu perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu tinggi secara bertahap. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada salah satu faktor saja, seperti korosi akibat lingkungan laut atau penurunan kekuatan akibat suhu tinggi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengisi kesenjangan penelitian sebelum nya dengan memberikan analisis komprehensif terkait dampak simultan dari kedua faktor tersebut terhadap beton normal. Selain aspek tersebut, pendekatan penelitian ini dirancang untuk merepresentasikan kondisi nyata yang sering terjadi di lapangan, seperti bangunan yang berada di lingkungan pesisir sekaligus rentan terhadap kebakaran. Penelitian ini juga mengacu pada standar dan pedoman yang berlaku dalam industri konstruksi yaitu SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Diharapkan bahwa penelitian ini akan membantu dalam pengembangan regulasi dan peningkatan standar yang berkaitan dengan ketahanan beton dalam kondisi lingkungan ekstrem.

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji durabilitas beton normal setelah mengalami perendaman dalam air laut dan pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C. Fokus pengujian meliputi perubahan kuat tekan, densitas, dan porositas beton setelah terpapar kombinasi kondisi ekstrem tersebut, dan apakah masih memenuhi persyaratan kelayakan penggunaan berdasarkan standar SNI 2847:2019. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi yang lebih tahan terhadap lingkungan ekstrem serta mendukung praktik desain dan pemeliharaan infrastruktur yang lebih andal.

2. DATA DAN METODE

2.1 Benda Uji dan Material

Penelitian menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 12 sampel dengan mutu rencana F_c 25 MPa, beton normal F_c 25 MPa dipilih karena pada umumnya bangunan konvensional memakai beton dengan mutu F_c 25 MPa. Pengujian dilakukan pada umur 30 hari saat beton mencapai kekuatan maksimal. Proses perhitungan dan rancangan Mix Design pada penelitian ini mengikuti pedoman SNI-03-2838-2000. Setelah dilakukan perhitungan Mix Design didapat kebutuhan material untuk porsi 12 sampel silinder disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil perhitungan Mix Design untuk 12 sampel

Material	Kebutuhan
Air	14,3445
Semen	31,1836
Agregat Halus	50,2693
Agregat Kasar	69,4195

Selanjutnya beton didiamkan pada suhu ruangan selama 24 jam, kemudian benda uji akan direndam di dam selama 28 hari. Benda uji silinder dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Benda uji beton beton silinder F_c 25 Mpa

2.2 Prosedur Perendaman dan Pembakaran

Benda uji direndam dalam air laut selama 28 hari. Setelah itu, dilakukan pembakaran menggunakan tungku drum pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C selama 30 menit. Pemilihan suhu tersebut mengacu pada kondisi nyata yang sering dialami beton ketika terkena paparan suhu tinggi, seperti pada kasus kebakaran bangunan. Proses pembakaran dikontrol dengan termometer dan dibantu dengan blower untuk menaikkan suhu. Setelah pembakaran beton didiamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian, proses ini dilakukan agar beton kembali pada suhu normal menghindari efek pengujian saat beton masih panas yang dapat memberikan hasil tidak akurat. Perendaman dan pembakaran benda uji dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Proses perendaman air laut



Gambar 3. Proses pembakaran

2.3 Metode Pengujian

Tiga parameter utama yang diuji dalam penelitian ini adalah kuat tekan, densitas, dan porositas.

1) Kuat Tekan

Kuat tekan dipilih karena merupakan parameter utama dalam menilai kualitas dan kemampuan beton menahan beban. Setelah mengalami perendaman air laut dan paparan suhu tinggi, kuat tekan akan menurun akibat kerusakan ikatan C-S-H dan dekomposisi mineral penyusun beton. Oleh karena itu, pengujian ini penting untuk mengetahui sejauh mana beton masih mampu berfungsi secara struktural.

2) Densitas

Densitas dipakai sebagai indikator perubahan mikrostruktur. Paparan suhu tinggi dan perendaman dapat menyebabkan hilangnya air terikat serta terbentuknya rongga dalam beton. Penurunan densitas mengindikasikan adanya kerusakan internal yang memengaruhi kekuatan dan durabilitas beton.

3) Porositas

Porositas berhubungan langsung dengan kemampuan beton dalam menahan penetrasi air dan zat agresif. Semakin tinggi porositas, semakin mudah ion klorida dan sulfat dari air laut masuk ke

dalam beton, sehingga mempercepat kerusakan. Dengan demikian, pengukuran porositas memberikan gambaran ketahanan beton terhadap lingkungan agresif.

2.4 Analisis Data

Data hasil uji dianalisis dengan membandingkan nilai kuat tekan, densitas, dan porositas sebelum dan sesudah perlakuan, serta dibandingkan dengan studi terdahulu dan standar SNI 2847:2019 untuk menilai kelayakan struktural.

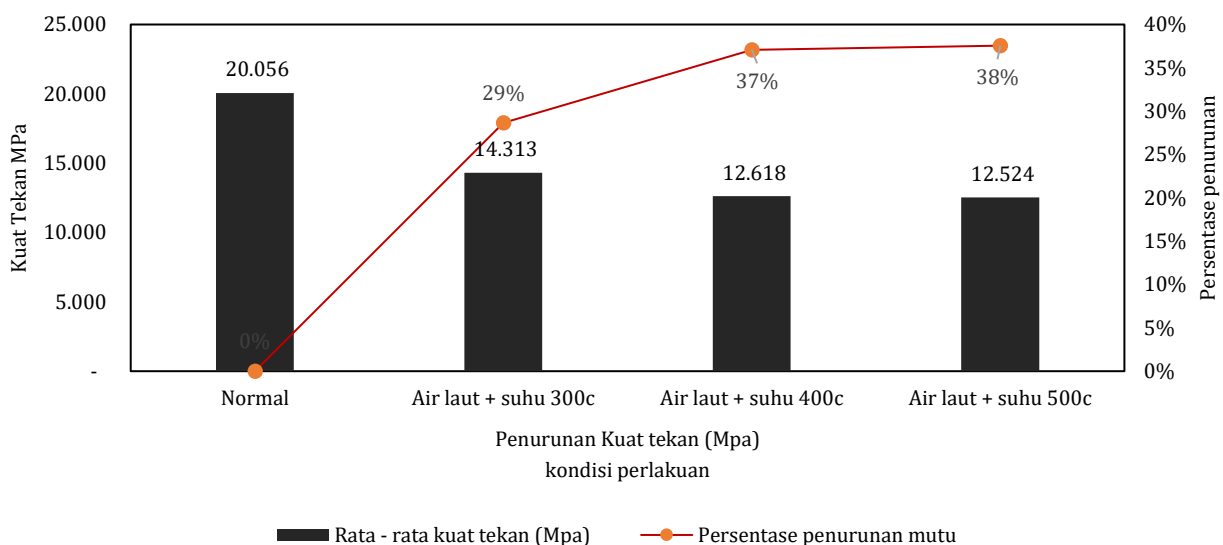
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Kuat Tekan

Penelitian ini mengkaji kekuatan tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011. Metode yang digunakan adalah pengujian kuat tekan beton, dengan tujuan utama membandingkan nilai kuat tekan beton setelah perendaman dalam air laut dan pembakaran pada variasi suhu 300°C, 400°C, dan 500°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana beton mampu mempertahankan durabilitasnya. Sebanyak empat jenis spesimen diuji, masing-masing terdiri atas tiga sampel, sehingga total benda uji berjumlah 12 sampel. **Tabel 2** merupakan hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari laboratorium:

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan beton silinder 15x30

Spesimen	Slump (cm)	Berat rata – rata benda uji	Gaya tekan (kN)				Luas penampang (m ²)	Kuat tekan (MPa)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata – rata		
Normal	7,5-15	12,06	355	350	360	355	0,0177	20,056
Air laut + 300 c ^o		12,14	220	190	350	253	0,0177	14,313
Air laut + 400 c ^o		11,95	190	250	230	223	0,0177	12,618
Air laut + 500 c ^o		11,7	270	230	165	222	0,0177	12,524



Gambar 4. Grafik rata-rata nilai kuat tekan dan persentase penurunan mutu

Hasil menunjukkan adanya penurunan kuat tekan secara bertahap. Suhu 300°C menurunkan kuat tekan sekitar 29%, suhu 400°C sekitar 37%, dan suhu 500°C menurunkan lebih dari 38% dibanding beton normal. Penurunan ini disebabkan dekomposisi senyawa hidrat seperti C-S-H gel dan pelepasan air bebas. Pada suhu di atas 300°C, struktur C-S-H mulai melemah, dan pada 500°C terjadi kerusakan signifikan akibat dehidrasi. Hal ini sesuai dengan pendapat Neville (2011) dan Mehta & Monteiro (2014) yang menyatakan bahwa kestabilan C-S-H gel sangat dipengaruhi oleh paparan suhu tinggi.

3.2 Hasil Pengujian Densitas

Penelitian ini juga melakukan uji densitas untuk mengukur besaran berat jenis ukuran kepadatan beton yang dihasilkan dari perbandingan antara massa beton dengan volume yang ditempati. Densitas yang

tinggi umumnya menunjukkan kualitas beton yang baik, karena dapat berhubungan langsung dengan kepadatan dan ketahanan terhadap kerusakan. **Tabel 3** merupakan hasil pengujian densitas beton.

Tabel 3. Hasil uji densitas beton silinder 15x30

No	Densitas beton (g/cm ³)			
	Normal	Air laut + suhu 300c	Air laut + suhu 400c	Air laut + suhu 500c
1	2,275	2,289	2,253	2,206

Berdasarkan data yang diperoleh, beton normal yang tidak terpapar air laut dan suhu tinggi memiliki densitas sebesar 2,227 g/cm³. Setelah mengalami perendaman dalam air laut dan pembakaran, terjadi penurunan densitas secara bertahap, yaitu menjadi 2,289 g/cm³ pada suhu 300°C, 2,253 g/cm³ pada suhu 400°C, dan 2,206 g/cm³ pada suhu 500°C. Penurunan ini mengindikasikan adanya kehilangan massa beton akibat pelepasan air dan kerusakan pada pasta semen yang menyebabkan degradasi mikro struktur beton secara progresif.

3.3 Hasil Pengujian Porositas

Uji porositas bertujuan untuk menentukan persentase volume rongga pori yang terdapat dalam benda uji. Tingginya nilai porositas menunjukkan banyaknya rongga udara di dalam beton, yang secara umum berbanding terbalik dengan kekuatannya semakin tinggi porositas, maka semakin rendah kekuatan beton, demikian pula sebaliknya. Tabel 4 merupakan hasil pengujian porositas yang diperoleh di laboratorium.

Tabel 4. Hasil uji porositas beton silinder 15x30

No	Porositas beton %			
	Normal	Air laut + suhu 300c	Air laut + suhu 400c	Air laut + suhu 500c
1	4%	3%	5%	7%

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, terlihat adanya tren peningkatan nilai porositas seiring dengan kenaikan suhu pembakaran. Beton normal yang tidak dibakar memiliki nilai porositas 4%. Setelah direndam air laut dan dipanaskan pada suhu 300°C, porositas menurun menjadi 3% ini disebabkan akibat sebagian air bebas dalam pori-pori menguap dan rongga tertutup kembali oleh produk hidrasi sekunder. Namun, pada suhu 400°C porositas meningkat menjadi 5% dan pada 500°C naik signifikan hingga 7%. Kenaikan ini disebabkan oleh kerusakan jaringan pasta semen akibat dehidrasi C-S-H gel dan dekomposisi Ca(OH)₂ yang menghasilkan rongga baru dalam struktur beton (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014). Dengan demikian, tren menunjukkan bahwa paparan suhu tinggi berkontribusi terhadap bertambahnya pori-pori beton, yang berdampak pada penurunan kualitas dan durabilitas.

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian Afandi (2012) yang menunjukkan bahwa suhu di atas 400°C menyebabkan penurunan signifikan pada kekuatan dan kepadatan beton. Selain itu, Khoury (2000) juga menjelaskan bahwa suhu ekstrem memicu retakan mikro dan kerusakan jaringan pasta semen yang berakibat pada peningkatan porositas serta penurunan kekuatan.

Jika dibandingkan dengan standar SNI 2847:2019, elemen struktural harus memenuhi kuat tekan minimum 17 MPa agar dapat dinyatakan aman. Berdasarkan hasil pengujian, beton yang dibakar pada suhu 500°C tidak lagi memenuhi kriteria tersebut karena kuat tekan turun hingga 12 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa beton dengan kondisi ini tidak layak sebagai elemen struktural, terutama pada aplikasi di lingkungan ekstrem seperti pesisir dan area rawan kebakaran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan analisis terhadap durabilitas beton normal setelah perendaman dalam air laut selama 28 hari dan pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, dan 500°C, disimpulkan bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan signifikan. Nilai kuat tekan beton normal sebesar 20,056 MPa menurun menjadi 14,313 MPa pada suhu 300°C, lalu menjadi 12,618 MPa pada 400°C, dan 12,524 MPa pada 500°C. Penurunan ini mengindikasikan bahwa suhu tinggi mempercepat kerusakan struktur mikro beton yang telah terdegradasi oleh ion dari air laut.

Densitas justru sedikit meningkat pada suhu 300°C, lalu menurun saat suhu meningkat. Kenaikan kecil di suhu 300°C dapat disebabkan oleh penyusutan air bebas dari pori-pori yang membuat beton menjadi lebih padat sementara. Namun, pada suhu 400°C dan 500°C, pelepasan air terikat serta kerusakan gel C-S-H yang berperan sebagai pengikat utama pada semen, menyebabkan pelepasan massa tanpa pengurangan volume yang sebanding, sehingga densitas menurun.

Menariknya, porositas menurun pada 300°C namun kemudian meningkat secara tajam pada suhu yang lebih tinggi. Penurunan di awal dapat dihubungkan dengan penyumbatan pori akibat kristalisasi garam atau pengeringan sementara. Namun pada suhu 400°C dan 500°C, retakan termal dan pelepasan air kimiawi menyebabkan meningkatnya rongga pori. Ini mendukung temuan penurunan kuat tekan dan densitas, karena peningkatan porositas menurunkan ketahanan mekanik beton.

Berdasarkan SNI 2847:2019, hanya beton normal yang memenuhi syarat kuat tekan minimum 17 MPa untuk struktur bangunan, sementara beton setelah perlakuan tidak layak digunakan sebagai elemen struktural.

Selain itu, kuat tekan beton normal yang direncanakan sebesar 25 MPa tidak tercapai, dengan hasil hanya 20,056 MPa. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pencampuran material yang tidak homogen, proses curing yang kurang optimal, tidak dilakukannya capping sebelum pengujian, serta keterbatasan pengalaman peneliti dalam melakukan desain campuran. Faktor-faktor ini secara keseluruhan memengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, serta semua pihak di Laboratorium Teknik Sipil atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- Arifin, M. (2014). Pengaruh Suhu dan lama Pemanasan terhadap Nilai Kalor pada Alga Spirogyra. 19–26.
- Badan Standardisasi Nasional. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002. SNI 03-2847-2002, 251.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen Opc, Ppc, Dan Pcc. 5.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Sni 2847-2019, 8, 37.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit. Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1.
- Hillah, F. F., Firdaus, R., Kurnia, F. W., Zea, J. M., & Nourma, M. (2022). Penerapan Keselamatan Kerja Melalui Sosialisasi Dan Pelatihan Penggunaan Apar (Alat Pemadam Api Ringan) Di Universitas X. SWARNA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 1(4), 462–467.
- Irawan, D. (2023). Abstract the Influence of Seawater on the Mechanical Properties of Concrete and the Physical Properties of Concrete.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th Edition. McGraw-Hill.
- Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete. 5th Edition. Pearson.
- Prabowo, H. (2017). Estimasi Umur Layan Struktur Beton Bertulang Terpapar Ion Klorida Pada Infrastruktur Sungai Kota Pontianak. Researchgate.Net, May, 1–6.
- Prasetya, R., & Abduh, M. (2021). Kuat Tekan Dan Durabilitas Beton Setelah Paparan Suhu Tinggi 400°C, 600°C Dan 800°C.
- Rahmad Afandi. (2012). Pengaruh Suhu Dan Durasi Pemanasan Terhadap Perubahan Karakteristik Beton Paska Bakar.
- Seni, W., Kala, P. R., Karma, T., Raisah, P., Zahara, H., Idroes, G. M., Bakri, A., Ichsan, M., & Rukmana, S. M. (2023). Penyuluhan Penanggulangan Kebakaran Kompor Gas Menggunakan Alat Pemadam Api Tradisional.
- Sidiq, F. A., & Walujodjati, E. (2021). Meninjau Kekuatan Beton Pada Lingkungan Air Laut Pameungpeuk Kabupaten Garut.
- SNI 1974-2011. (1974). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.

- Suhartana, S. (2007). Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Asinan Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 10(3), 67–
- Trial, M., & Vi, K. (2022). Teknologi Beton Teknologi Beton. 1–42.
- Wedhanto, S. (2015). Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton Terbuat dari Berbagai Tipe Semen yang Dijual di Toko Bangunan di Kota Malang. *ReTII*, 435–441.
- Yulismawati, R., Olivia, M., & Saputra, E. (2021). Durabilitas Beton Sekat Kanal Terpapar Air Gambut dan Air Laut. *Jurnal Teknik*, 15(2), 137–147.

Analisis dan desain modifikasi jembatan rangka busur baja dengan *fluid viscous damper* menggunakan SAP2000

Muhamad Fauzan Akbaria*, Yohanes Hadi Saputra^b, Rizqi Alghiffary^c, Griselda Junianda Velantika^d, Karina Melawati Eka Putri^e, Elok Dewi Widowati^f

^{a,c,d,e,f} Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

^b Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

muhamad.fauzan.ft@upnjatim.ac.id

Keywords:

Bridge seismic performance, fluid viscous damper, SAP2000, steel arch truss, structural modification design

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The bridge design modification presented in this study focuses on implementing a steel arch truss system combined with Fluid Viscous Dampers (FVDs) to improve structural efficiency and seismic resilience. The steel arch truss enables a longer main span with fewer intermediate supports, offering construction advantages, enhanced stability, and improved aesthetics. Additionally, the integration of FVDs aims to reduce structural displacements during seismic events, thereby minimizing potential post-earthquake damage. The Sembayat Baru II Bridge in Gresik Regency connects Gresik and Lamongan, serving as a vital route for mobility and logistics. Constructed between 2015–2019, its design preceded the updated seismic code (SNI 1726:2019), creating the need for redesign to ensure safety and compliance. This study involves data collection, literature review, and structural modeling with SAP2000 in accordance with Indonesian bridge and seismic standards. The redesign adopts a single-span configuration with steel orthotropic decks, providing a lighter yet more efficient superstructure. Key structural elements include BJ55 steel orthotropic deck plates with T-profile ribs, cross girders using WF profiles, tie beams with box girders, and Macalloy suspension cables to ensure stability and strength. To improve seismic performance, Fluid Viscous Dampers (FVDs) are integrated into the structure. Analytical results show that FVDs significantly reduce seismic displacement by 3–45%, confirming their role in enhancing resilience. This research highlights the importance of integrating advanced damping devices in bridge design to meet updated codes, increase durability, and ensure reliable infrastructure performance in seismic regions.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Transportasi ialah elemen penting dalam mendukung aktivitas sosial-ekonomi, dengan jembatan sebagai infrastruktur utama untuk menghubungkan wilayah yang terpisah oleh sungai, lembah, atau perairan (Tiwari, Rai, and Shivangi, 2016). Jembatan merupakan struktur yang dirancang untuk menyatukan dua ruas jalan yang terpisah akibat adanya hambatan alami seperti sungai, lembah dalam, saluran irigasi, maupun saluran pembuang (Mauliana and Saputra, 2024). Di Indonesia, banyak jembatan eksisting yang menggunakan banyak pilar sepanjang bentangannya sehingga kurang efisien, sehingga menyulitkan pekerjaan konstruksi pondasi (Propika and Septiarsilia, 2020). Selain itu, posisi Indonesia berada pada zona tektonik aktif (Sunarjo, 2010), hal ini membuat jembatan rentan terhadap kerusakan akibat gempa bumi, terutama karena perpindahan struktur (*displacement*) yang signifikan. Sistem busur rangka baja merupakan salah satu pilihan desain jembatan yang dapat memaksimalkan panjang bentang sehingga kebutuhan tumpuan menjadi lebih sedikit (Zhang, Deng, Fang, and Ge, 2022). Keunggulan sistem busur rangka baja antara lain efisiensi penggunaan material, peningkatan kekakuan struktur, serta kemampuan menyalurkan beban secara lebih efektif (Sun et al., 2024). Selain itu, desain busur rangka baja memberikan nilai estetika yang baik, membuat jembatan terlihat lebih ikonik dan sesuai untuk wilayah dengan kondisi geografis tertentu (Arslan, 2020). Untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa, penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) telah terbukti mampu meningkatkan kinerja jembatan saat gempa (Kiral, Gurbuz, and Ustabas, 2025). Viscous damper adalah perangkat peredam yang digunakan untuk mengurangi respons dinamis struktur akibat beban gempa atau getaran lainnya (Khedmatgozar Dolati, Mehrabi, and Khedmatgozar Dolati, 2021). Penerapan viscous damper pada jembatan terbukti mampu mereduksi *displacement* dan gaya internal yang ditimbulkan oleh aktivitas

seismik, sehingga meningkatkan ketahanan jembatan dan mengurangi risiko kerusakan pasca-gempa (Yi, Li, and Guan, 2018). Teknologi ini telah banyak diterapkan dalam desain infrastruktur modern untuk meningkatkan kinerja seismik struktur. Namun, integrasi sistem busur rangka baja dengan FVD pada modifikasi jembatan eksisting di Indonesia masih jarang diteliti, sehingga diperlukan kajian yang lebih mendalam.

Penelitian ini berfokus pada modifikasi Jembatan Sembayat Baru II yang diasumsikan sebagai jembatan strategis di Kabupaten Gresik yang menghubungkan Gresik dengan Lamongan. Jembatan ini berperan penting dalam mendukung mobilitas dan distribusi logistik, sehingga peningkatan efisiensi struktur dan ketahanan gempa menjadi kebutuhan mendesak. Jembatan ini dibangun pada periode 2015–2019, yaitu sebelum diberlakukannya peraturan gempa terbaru SNI 1726:2019. Akibatnya, desain awalnya belum sepenuhnya mengakomodasi ketentuan beban gempa terkini, sehingga diperlukan proses *redesign* untuk menyesuaikan dengan standar terbaru dan meningkatkan keandalan seismik. Menggunakan perangkat lunak SAP2000, studi ini merancang ulang elemen struktural utama, termasuk pelat orthotropik, gelagar melintang, ikatan angin, tie beam, kabel penggantung, dan integrasi FVD sebagai peredam longitudinal. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan desain jembatan yang efisien, estetis, dan tahan gempa, sekaligus memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan desain jembatan busur rangka baja dengan peredam viskositas yang relevan bagi kondisi geoteknik Indonesia dan dapat dijadikan acuan dalam perencanaan infrastruktur serupa di masa depan.

2. DATA DAN METODE

Alur Penelitian

Metodologi penelitian ini diawali dengan pengumpulan data dan studi literatur terkait desain jembatan busur baja serta penggunaan FVD. Tahap selanjutnya adalah preliminary design untuk menentukan konsep awal dan dimensi struktur, diikuti perancangan struktur sekunder menggunakan pelat orthotropik. Analisis struktur utama dilakukan dengan SAP2000 untuk mengevaluasi kinerja jembatan dengan damper. Hasil analisis dikontrol kekuatan dan kestabilannya; jika tidak memenuhi standar, desain direvisi hingga sesuai kriteria.

Penghimpunan Data dan Literatur

Pada perencanaan jembatan dalam studi ini data disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data perencanaan jembatan

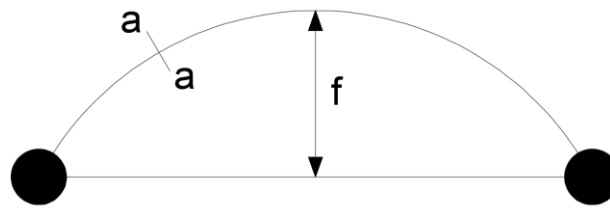
Data Perencanaan	Keterangan
Nama jembatan	Jembatan Sembayat Baru II
Lokasi	Gresik, Jawa Timur
Panjang Bentang	354 meter

Langkah berikutnya adalah melakukan tinjauan pustaka yang dilakukan dengan mengidentifikasi dan menghimpun referensi yang memiliki keterkaitan dengan rancangan struktur jembatan tipe busur. Studi literatur mencakup buku *Brockenbrough* (1994), *Wai-Fah & Duan* (2014), *Heins & Afirmage*, serta *Agus Setiawan* mengenai desain jembatan busur dan struktur baja. Beberapa standar regulasi digunakan dalam perencanaan struktur jembatan. Ketentuan mengenai jenis pembebanan yang wajib diperhitungkan, seperti beban mati, beban lalu lintas, serta pengaruh lingkungan seperti angin dan suhu, diatur dalam standar pembebanan jembatan (SNI 1725:2016). Perencanaan elemen struktur dari baja dilakukan berdasarkan metode perhitungan kekuatan dan kestabilan elemen dengan pendekatan LRFD (Load and Resistance Factor Design) yang diatur dalam standar struktur baja (SNI 1729:2015). Persyaratan teknis material beton, meliputi mutu beton, detail penulangan, dan ketentuan pembebanan, diatur dalam standar untuk beton struktural bangunan gedung (SNI 2847:2019). Selain itu, regulasi internasional yang menetapkan minimum pembebanan pada bangunan dan struktur lainnya, termasuk beban gempa dan angin dirujuk melalui standar pembebanan bangunan dan struktur (ASCE 7-16).

Desain Preliminary

Desain preliminari merupakan pendefinisian awal terkait material dan dimensi elemen struktur. Aspek tersebut meliputi penetapan ukuran elemen busur dan struktur baja, pemilihan mutu material yang

digunakan, serta kapasitas dari FVD yang diaplikasikan pada sistem struktur seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Preliminary Design Jembatan Busur : (W.-F. Chen & Duan, 2014)

Ukuran jembatan busur mencakup lebar dan tinggi keseluruhan, ketinggian penampang busur dihitung berdasarkan rumus yang terdapat pada buku Bridge Engineering Handbook (W.-F. Chen & Duan, 2014) dengan Persamaan 1, Persamaan 2, dan Persamaan 3.

$$\text{Lebar jembatan (b)} : \frac{b}{L} \leq \frac{1}{20} \quad \text{Pers. 1)}$$

$$\text{Tinggi fokus (f)} : \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad \text{Pers. 2)}$$

$$\text{Tinggi penampang busur (t)} : \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \quad \text{Pers. 3)}$$

Dimana b adalah lebar jembatan, f tinggi jembatan, t tinggi penampang busur, dan L panjang bentang jembatan yang digunakan untuk analisis dimensi dan kekuatan struktur.

Pembebanan

Desain preliminai merupakan pendefinisian awal terkait material dan dimensi elemen struktur. Aspek tersebut meliputi penetapan ukuran elemen busur dan struktur baja, pemilihan mutu material yang digunakan, serta kapasitas dari FVD yang diaplikasikan pada sistem struktur.

a) Dead Load / Beban Mati

Dead load / beban mati merupakan beban dari berat sendiri komponen, baik struktural maupun non-struktural, yang ditopang oleh jembatan. Perhitungan beban ini mengikuti standar (Pasal 7.2 SNI-1726:2016), data berat jenis material sesuai dengan ketentuan (Tabel 2 SNI-1725:2016). Beban dead load / beban mati dapat diperoleh dengan Persamaan 4.

$$MS = b \times h \times w \quad \text{Pers. 4)}$$

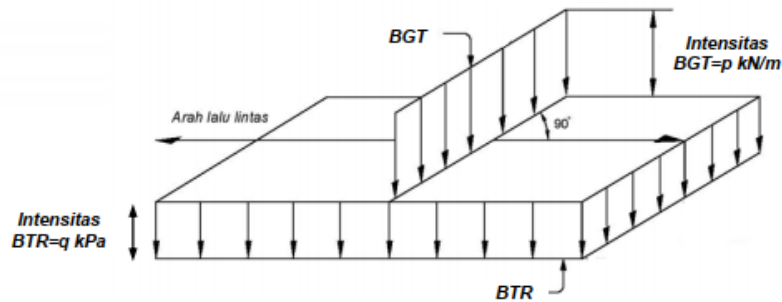
dengan, b menyatakan lebar elemen yang dianalisis (m), h adalah ketebalan elemen tersebut (m), dan w merupakan berat jenis material (kN/m^3).

b) Super Dead Load / Beban Mati Tambahan

Super dead load / beban mati tambahan ialah beban elemen non struktural pada jembatan yang dapat berubah selama masa layan, beban ini diatur dalam standar (Pasal 7.3 SNI 1726:2016). Adapun beban sendiri harus dikalikan dengan faktor beban untuk berat sendiri.

c) Beban Hidup

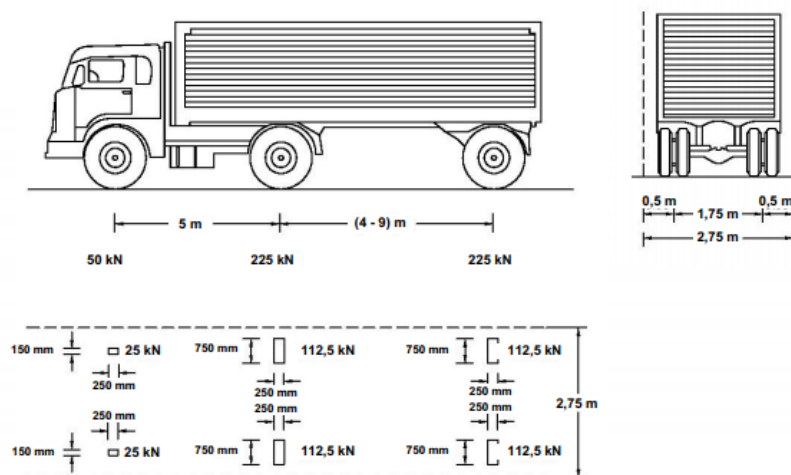
Perhitungan beban lalu lintas mencakup beban TD atau beban lajur "D", beban TT atau beban truk, gaya Tb atau gaya rem rem, dan beban TP atau beban pejalan kaki. Beban TD atau beban lajur "D" merupakan kombinasi antara beban garis (BGT) dan beban terbagi rata (BTR), dengan faktor bebannya. BTR dinyatakan sebesar q , nilainya berkaitan dengan total panjang L yang terbebani, dimana q merupakan intensitas BTR sepanjang jembatan. Beban BGT (p) diposisikan membentuk sudut 90 derajat dengan arah lalu lintas dengan menggunakan dua garis beban identik untuk memperoleh momen negatif maksimum. **Gambar 2** menggambarkan beban TD.



Gambar 2. Ilustrasi skema beban TD *Preliminary Design* Jembatan Busur (Gambar 24 Standar Nasional Indonesia 1725:2016)

Selain beban TD, jembatan juga mempertimbangkan beban lalu lintas truk “T”; namun, sesuai ketentuan *SNI 1726-2016* Pasal 8.4, kedua jenis beban tersebut tidak boleh diterapkan secara bersamaan. Beban truk “T” berupa kendaraan berat dengan tiga as yang ditempatkan pada berbagai posisi di lajur rencana. Beban tersebut dihasilkan oleh kendaraan jenis truk semi trailer yang memiliki konfigurasi serta bobot gandar tertentu, di mana tiap as dibagi menjadi dua beban merata pada bidang kontak roda dengan lantai. Pada **Gambar 3** dapat dilihat ilustrasi beban lalu lintas truk “T”.

Faktor Beban Dinamis (FBD) digunakan untuk memastikan adanya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan struktur jembatan. Besarnya nilai BGT pada pembebanan lajur “D” dan beban roda pada pembebanan truk “T” harus dikalikan dengan FBD agar pengaruh dinamis kendaraan terhadap jembatan dapat diperhitungkan dengan tepat. Berdasarkan pada Pasal 8.6 *SNI-1726-2016*, FBD merupakan nilai tambahan yang dinyatakan sebagai fraksi dari beban statis dan diterapkan pada kondisi batas daya layan maupun batas ultimit. Sementara itu, beban terbagi rata (BTR) pada lajur “D” tidak dikenakan faktor ini. FBD dapat dilihat pada *SNI 1725-2016* Gambar 28. Pada pembebanan truk “T”, nilai FBD ditetapkan sebesar 30% dan diterapkan pada seluruh komponen bangunan yang berada di atas permukaan tanah.



Gambar 3. Ilustrasi skema beban TT (Gambar 26 Standar Nasional Indonesia 1725:2016)

d) Gaya Rem (TB)

Besar gaya rem ditentukan dari nilai maksimum antara dua kondisi, yaitu dua puluh lima persen dari bobot gandar truk rencana atau lima persen dari total bobot truk rencana ditambah beban terbagi rata (BTR). Gaya rem ditentukan beraksi secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan, mengikuti arah gaya yang dinilai paling membebani struktur. Untuk memperoleh hasil perhitungan gaya rem yang tepat, diperlukan nilai faktor kepadatan lajur, yang dapat ditemukan pada Pasal 8.4.3 *SNI-1725:2016*.

e) Beban Pejalan Kaki (TP)

Trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm harus dirancang mampu menahan beban pejalan kaki sebesar 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan pada tiap lajur.

f) Beban Temperatur

Menurut Pasal 9.3.1 SNI-1726:2016, deformasi yang disebabkan oleh perubahan temperatur merata dapat dihitung dengan mengikuti langkah-langkah yang dijabarkan dalam pasal tersebut. Prosedur ini berlaku baik untuk desain jembatan dengan gelagar dari beton maupun baja. Adapun rentang suhu referensi diambil dari Tabel 18 dalam SNI-1725:2016, dengan nilai minimum dan maksimum ialah $T_{min\,design}$ dan $T_{max\,design}$. Karakteristik material terhadap pengaruh temperatur dapat ditemukan pada Tabel 19 SNI-1725:2016

g) Beban Angin

Salah satu beban yang harus diperhitungkan adalah beban angin. Besarnya tekanan horizontal angin ditentukan melalui prosedur perhitungan beban angin yang telah ditetapkan dalam standar (Pasal 9.6.1 SNI-1725:2016) seperti yang disajikan pada **Persamaan 5** dan **Persamaan 6**.

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad \text{Pers. 5)}$$

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad \text{Pers. 6)}$$

keterangan P_D adalah tekanan desain angin yang dinyatakan dalam MPa, sedangkan P_B merupakan tekanan dasar angin. Parameter V_{DZ} menunjukkan kecepatan rencana angin pada ketinggian tertentu, sementara kecepatan rencana angin (V_B) pada ketinggian 1 m. Kecepatan angin V_{10} didapatkan pada ketinggian 10 m dari permukaan tanah dan dapat diasumsikan sama dengan V_B . Selain itu, V_o merepresentasikan kecepatan gesekan angin, dalam rumusan 6 panjang gesekan pada area hulu jembatan disebut sebagai Z_o , dan Z merupakan ketinggian struktur dari permukaan tanah. Seluruh parameter ini digunakan untuk menentukan besarnya tekanan angin horizontal yang bekerja pada jembatan.

Selain tekanan angin horizontal, perlu diperhitungkan juga tekanan angin pada kendaraan. Mengacu pada SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1.2, beban angin pada kendaraan bernilai 1,46 N/mm dan bekerja pada ketinggian 1800 mm di atas permukaan jalan. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan merujuk pada Tabel 31 dalam SNI-1725:2016.

h) Beban Gempa

Perencanaan jembatan dilakukan dengan asumsi probabilitas terlampauinya gempa sebesar 7% dalam periode 75 tahun, dengan perhitungan gaya gempa mengacu pada SNI 03-2833-2016 sesuai persamaan **Persamaan 7**.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t \quad \text{Pers. 7)}$$

Keterangan rumusan 7 adalah E_Q merupakan gaya gempa horizontal statis (kN), C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis, R_d menunjukkan faktor modifikasi respons, sedangkan W_t merupakan total berat struktur yang mencakup beban mati dan beban hidup yang relevan (kN).

Perencanaan jembatan harus memastikan risiko keruntuhan yang sangat kecil meskipun memungkinkan terjadinya kerusakan signifikan serta gangguan fungsi layanan akibat gempa. Dalam kondisi tertentu, penggantian sebagian atau seluruh struktur mungkin diperlukan. Otoritas terkait juga dapat menetapkan tingkat kinerja yang lebih tinggi, seperti kinerja operasional.

Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Perencanaan struktur atas jembatan meliputi perencanaan lantai kendaraan, desain rusuk (Ribs), perencanaan kerb, perencanaan balok melintang dan memanjang, perencanaan damper jembatan, analisis struktur, dan perencanaan profil elemen struktur, pengecekan stabilitas struktur, dan perencanaan sambungan.

a) Pelat Lantai Kendaraan

Ketebalan pelat lantai mengacu pada formula yang tercantum pada **Persamaan 8**.

$$t_p = 0,0065 a \sqrt[3]{P} \quad \text{Pers. 8)}$$

Dalam persamaan tersebut, t_p menunjukkan ketebalan minimum pelat dalam satuan inci, a menggambarkan dimensi interval antar rusuk, dan P merepresentasikan beban dari gandar roda kendaraan (dalam satuan psi), yang telah dikalikan dengan faktor beban dinamis sebesar 30%. Sesuai dengan SNI 1725-2016 Pasal 8.6 faktor beban dinamis dapat dihitung.

b) Perencanaan Rusuk Jembatan

nilai panjang/ jarak dari rusuk dapat dihitung melalui **Persamaan 9**.

$$I_1 = 0,7 l$$

Pers. 9)

Dimana l adalah jarak antara gelagar melintang. Selain it gelagar melintang perlu dikontrol terhadap kelangsingan rusuk mengikuti ketentuan AASHTO 1.7.144. Kontrol kelangsingan dikalkulasikan menggunakan **Persamaan 10**.

$$\left(\frac{L}{r}\right) = 1000 \sqrt{\frac{1500}{f_y} - \frac{2700F}{f_y^2}}$$

Pers. 10)

Dimana keterangan rumusan diatas adalah L merupakan jarak antar balok melintang, r ialah nilai jari-jari girasi dari profil elemen yang mempertimbangkan lebar efektif pelat jembatan, sedangkan f_y ialah *yield stress* elemen ribs/rusuk.

c) Perencanaan Kerb

Beban hidup pada kerb dihitung berdasarkan SNI 1725:2016, bekerja secara horizontal di sepanjang bagian atas kerb jembatan.

d) Perencanaan Balok Struktur Memanjang dan Melintang

Desain balok struktur memanjang dan melintang dilakukan sesuai SNI 1725:2016 dengan mempertimbangkan beban lantai, kerb, sandaran, serta beban hidup jembatan.

e) Perencanaan Damper jembatan

Perencanaan penggunaan damper pada jembatan mengacu pada *SNI 2833:2016* Pasal 6.3.2.2, dengan memperhitungkan kekakuan pegas yang ditentukan dari perpindahan maksimum akibat beban gempa. Pemasangan damper pada arah longitudinal jembatan juga berfungsi mengurangi beban rem. Pemodelan damper dilakukan menggunakan program SAP2000 dan mengikuti *General Guidelines for FVDs dari Taylor Device Inc.*

f) Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi

Pemodelan jembatan dengan damper dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000, sekaligus merencanakan dimensi profil struktur utama jembatan busur.

g) Pemeriksaan stabilitas struktur

Analisis kapasitas dan stabilitas struktur baja jembatan ini dilakukan berdasarkan ketentuan *SNI 1729:2015* dan *SNI 1725:2016* dengan tahapan sebagai berikut. (1) Kapasitas tarik diperiksa pada elemen struktur yang menerima beban aksial berupa gaya tarik untuk memastikan kekuatan dan keamanan, sesuai *SNI 1729:2015* Bab D. (2) Kapasitas tekan dianalisis pada batang yang mengalami pemendekan akibat beban aksial tekan dengan mempertimbangkan potensi tekuk, mengacu pada *SNI 1729:2015* Bab E. (3) Evaluasi terhadap kapasitas lentur dilakukan pada elemen struktur dikenai beban momen lentur di sumbu utama, menggunakan pendekatan analisis linear sebagaimana tercantum dalam Bab F *SNI-1729:2015*. (4) Kapasitas geser dihitung untuk memastikan elemen mampu menahan gaya lintang atau geser tanpa mengalami kegagalan, mengacu pada *SNI 1729:2015* Bab G. (5) Pengecekan tekuk lokal dilakukan untuk menganalisis kemungkinan ketidakstabilan pelat badan atau sayap profil sebelum mencapai tegangan leleh. (6) Pengecekan tekuk lateral diterapkan pada balok yang mengalami momen lentur untuk menghindari perpindahan lateral mendadak yang dapat menyebabkan kegagalan, sesuai *SNI 1729:2015* Bab F3. (7) Pembatasan lendutan ditetapkan untuk mengontrol deformasi balok akibat beban layan, yang mencakup beban hidup dan beban kejut, sesuai *SNI 1725:2016* Pasal 8.4.6.1 guna menjaga kinerja struktur jembatan secara keseluruhan.

h) Perencanaan Sambungan

Perencanaan sambungan pada struktur dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sambungan baut dan sambungan las. Desain sambungan baut mengacu pada *SNI 03-1729-2015* (LRFD). Perhitungan kekuatan geser dan tarik sambungan menggunakan persamaan desain (ϕR_n) sebagaimana tercantum pada Pasal J3.6 (*SNI 1729:2015* J3-1). Sementara itu, untuk sambungan tipe tumpuan yang menerima kombinasi gaya tarik dan geser, perhitungannya mengikuti ketentuan pada Pasal J3.7. Desain sambungan las mengacu pada *SNI-1729:2015*, di mana kekuatan desain (ϕR_n) untuk sambungan las tumpul ditentukan berdasarkan Tabel J2.5, sedangkan untuk sambungan las sudut, perhitungannya mengikuti ketentuan Pasal J2.4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Design

Dalam perancangan jembatan diperlukan data *existing* dan lingkungan jembatan. Berikut adalah data umum serta parameter lingkungan Jembatan Sembayat Baru II:

Kondisi eksisting jembatan :

- | | |
|---|--------------------|
| a) Nama jembatan | = Sembayat Baru II |
| b) Lokasi | = Kabupaten Gresik |
| c) Panjang jembatan eksisting | = 354 meter |
| d) Lebar jembatan eksisting | = 13 meter |
| e) Tinggi jembatan eksisting | = 6 meter |
| f) Kategori lokasi | = Sub Urban |
| g) Kecepatan angin rencana (V_{DZ}) | = 78,8 km/jam |
| h) Data gempa | |
| a) Jenis tanah | = Tanah Lunak (SE) |
| b) S_s | = 0.6 g |
| c) S_1 | = 0.25 g |
| d) P_g | = 0.3 g |

Setelah didapatkan data umum dan lingkungan jembatan, *preliminary* atau perencanaan awal jembatan dapat dilakukan, berikut adalah data *preliminary* jembatan:

- | | |
|----------------------------------|---|
| a) Panjang jembatan busur | = 354 meter |
| b) Tinggi fokus busur jembatan | = $0.18 L = 52 \text{ m}$ |
| c) Tinggi tampang busur | = $\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} = 6.5 \text{ m}$ |
| d) Lebar jembatan | = $\frac{b}{L} \leq \frac{1}{20} = 13 \text{ m}$ |
| e) Mutu baja & pelat orthotropic | = Bj 55 |
| f) Mutu beton | = 30 MPa |

Setelah itu penentuan dimensi awal elemen-elemen pada jembatan dapat dilakukan, kemudian dilakukan analisis kapasitas elemen dengan metode trial & error. Adapun elemen struktur terbagi menjadi 2 kategori yaitu rangka primer dan rangka sekunder. Berikut adalah profil awal yang digunakan:

Rangka Primer :

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| a) Batang busur atas | = BOX 800.600.30.20 |
| b) Batang busur bawah | = BOX 800.600.20.20 |
| c) Rangka tegak | = WF 600.400.12.19 |
| d) Rangka miring | = WF 600.400.12.19 |
| e) Batang tarik | = BOX 1400.800.50.50 |
| f) Batang busur bawah (tumpuan) | = BOX 1500.800.65.65 |

Rangka Sekunder :

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| a) Gelagar Melintang | = WF 650.350.20.30 |
| b) Ikatan angin diagonal | = WF 300.300.10.15 |
| c) Ikatan angin vertikal | = WF 175.175.7,5.11 |
| d) Rusuk pelat | = T 400.150.12.22 |

Elemen Struktur Sekunder

Struktur sekunder terdiri dari gelagar melintang, ikatan angin, dan pelat lantai kendaraan. Hal yang perlu dicermati adalah analisis struktur sekunder tidak dapat dianalisis bersama keseluruhan struktur, dan dianalisis struktur sekunder dilakukan secara terpisah.

a) Pelat Kendaraan

Analisis pelat kendaraan dengan beban rencana 112,5 kN, tebal minimum pelat yang dibutuhkan sebesar 12,57 mm sehingga digunakan tebal rencana 15 mm untuk kemudahan pelaksanaan. Dengan rencana lapisan perkerasan berupa aspal setebal 50 mm dengan trotoar setinggi 250 mm. Hasil evaluasi menunjukkan tegangan pelat yang terjadi sebesar 1685,28 kg/cm² tidak melebihi tegangan izin 2100 kg/cm², dan lendutan maksimum 0,0303 in masih berada di bawah lendutan izin 0,0525 in, sehingga desain pelat dinyatakan aman. Adapun secara garis besar analisis perencanaan pelat kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil analisis pelat kendaraan

Parameter	Nilai Hasil	Keterangan
Beban rencana (P)	112,5 kN	Beban kendaraan
Tebal minimum pelat	12,57 mm	Hasil perhitungan
Tebal pelat rencana	15 mm	Digunakan
Tebal lapis aspal	50 mm	-
Tinggi trotoar	250 mm	-
Tegangan izin (σ_{ijin})	2100 kg/cm ²	Kapasitas bahan
Tegangan pelat (σ)	1685,28 kg/cm ²	Aman ($< \sigma_{ijin}$)
Lendutan maksimum	0,0303 in	Aman ($< 0,0525$ in)

b) Perencanaan Rusuk

Perencanaan rusuk menggunakan profil T 175.35.19.12 dengan beban maksimum menghasilkan momen sebesar 26.054 kg.m dan gaya geser 25.450 kg. Hasil analisis menunjukkan kapasitas momen dan geser profil lebih besar dari gaya dalam yang terjadi, dengan lendutan maksimum 2,5 mm yang masih lebih kecil dari batas izin 6,25 mm. Rasio kelangsingan juga berada di bawah nilai batas sehingga stabilitas terpenuhi. Sambungan rusuk terhadap gelagar melintang direncanakan dengan menggunakan sambungan las setebal 5 mm berdasarkan perhitungan kapasitas sambungan dan mutu las E80xx. Dengan demikian, elemen rusuk dinyatakan aman terhadap kekuatan, kekakuan, serta sambungan. Secara garis besar analisis perhitungan perencanaan rusuk jembatan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil analisis perencanaan rusuk jembatan

Parameter	Nilai Hasil	Keterangan
Momen maksimum (M_u)	26.054 kg.m	Beban ultimate
Gaya geser maksimum (V_u)	25.450 kg	Beban ultimate
Profil rusuk	T 175.35.19.12	Profil yang digunakan
Kapasitas momen (ϕM_n)	4.780.658 kg.cm	$\geq M_u \rightarrow$ Aman
Kapasitas geser (ϕV_n)	83.689,2 kg	$\geq V_u \rightarrow$ Aman
Lendutan (W)	2,5 mm	$\leq 6,25$ mm $\rightarrow$ Aman
Kelangsingan (L/r)	29,463	$< 83,20 \rightarrow$ Aman
Sambungan las – M_u	4.562,54 kg.m	Beban 1 truk
Sambungan las – V_u	11.316 kg	Beban 2 truk
Tebal las rencana	5 mm	Digunakan untuk desain

Perencanaan Gelagar Melintang

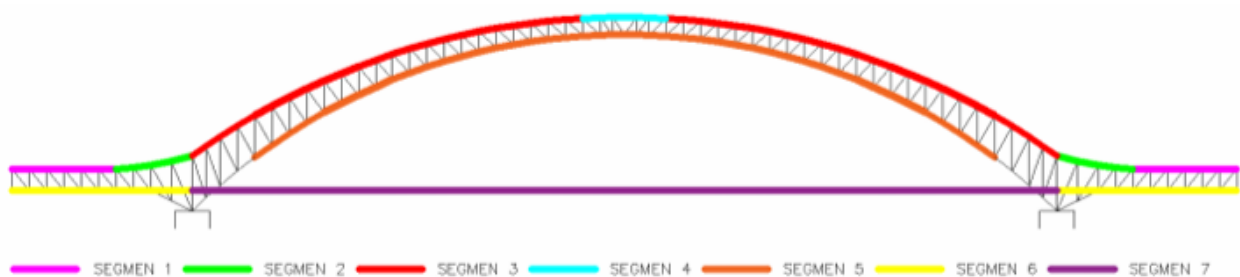
Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil girder 650×350×20×30 dengan momen maksimum 265.194,27 kg.m dan gaya geser 176.129,04 kg. Hasil evaluasi kapasitas momen, geser, lendutan, dan kelangsingan menunjukkan bahwa elemen memenuhi seluruh persyaratan kekuatan dan stabilitas. Sambungan las direncanakan menggunakan mutu las E90xx dengan tebal 19 mm, sedangkan sambungan baut menggunakan baut diameter 24 mm mutu A490. Pada sambungan pelat sayap diperlukan 18 baut dan pada sambungan pelat badan diperlukan 12 baut dengan pelat tebal masing-masing 16 mm dan 20 mm mutu BJ 41. Dengan demikian, gelagar melintang dinyatakan aman terhadap kekuatan, kekakuan, serta sambungan. Hasil analisis perencanaan gelagar melintang secara umum terlampir pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Desain analisis perencanaan balok gelagar melintang jembatan

Parameter	Nilai Hasil	Keterangan
Momen maksimum (M_u)	265.194,27 kg.m	Beban rencana
Gaya geser maksimum (V_u)	176.129,04 kg	Beban rencana
Profil girder	650×350×20×30	Digunakan untuk desain
Kapasitas momen (ϕM_n)	304.443,45 kg.m	$\geq M_u \rightarrow$ Aman
Kapasitas geser (ϕV_n)	261.252 kg	$\geq V_u \rightarrow$ Aman
Lendutan (Δ)	12,62 mm	$\leq 16,12$ mm $\rightarrow$ Aman
Kelangsingan (L/r)	29,463	$< 83,20 \rightarrow$ Aman
Sambungan las	Tebal 19 mm (E90xx)	Aman
Sambungan baut – pelat sayap	18 baut Ø24 mm A490	Pelat 16 mm BJ 41
Sambungan baut – pelat badan	12 baut Ø24 mm A490	Pelat 20 mm BJ 41

Perencanaan Ikatan Angin

Profil yang digunakan pada jembatan ini dibagi menjadi tujuh segmen berikut skema penggunaan profil ikatan angin pada jembatan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.

**Gambar 4.** Konfigurasi Profil Ikatan Angin Jembatan

Perencanaan ikatan angin pada jembatan dibagi menjadi tujuh segmen sesuai konfigurasi struktur. Profil ikatan angin yang dipilih adalah WF dengan mutu baja BJ 55. Gaya aksial tarik maksimum pada ikatan angin adalah sebesar 511.407 kg dan gaya tekan maksimum sebesar 517.024,75 kg. Hasil kontrol kapasitas menunjukkan bahwa profil WF 300.300.10.15 memiliki kapasitas tarik dan tekan yang lebih besar dibandingkan gaya rencana, sehingga profil dinyatakan kuat. Untuk setiap segmen ikatan angin, desain profil baja dan jumlah sambungan baut ditentukan berdasarkan besarnya gaya aksial yang bekerja, sebagaimana dirangkum pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil desain profil ikatan angin jembatan

No.	Structural Segment	Axial Compressive Force (kg)	Axial Tensile Force (kg)	Design of Steel Profile	Number of Bolted Connections
1	I	139 602,61	139 596,73	WF 150.150.7.10	8
2	II	68 345,33	68 339,43	WF 100.100.6.8	8
3	III	517 024,75	511 407,00	WF 300.300.10.15	24
4	IV	159 654,80	159 587,02	WF 175.175.7.5.11	8
5	V	173 985,48	173 935,09	WF 175.175.7.5.11	10
6	VI	145 240,57	145 240,64	WF 150.150.7.10	8
7	VII	33 246,41	33 241,01	WF 100.50.5.7	8

Kombinasi Pembebanan

Mengacu pada SNI 1725 2016 pasal 6.1, kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis jembatan busur rangka baja ditentukan sebagai berikut:

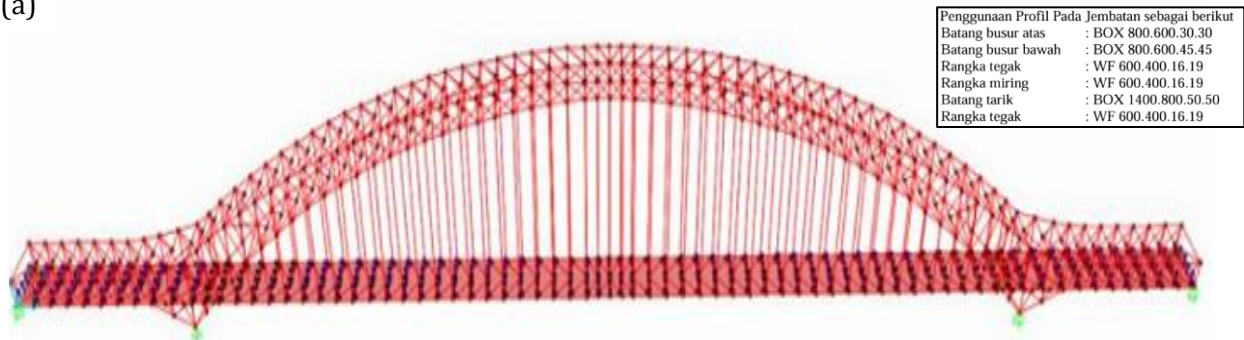
- Strength 1 : 1,1 MS + 2 MA + 1,8 LL + 1 EUn
- Strength 2 : 1,1 MS + 2 MA + 1,4 LL + 1 EUn
- Strength 3 : 1,1 MS + 2 MA + 1,4 EWs + 1 EUn
- Strength 4 : 1,1 MS + 2 MA + 1 EUn
- Strength 5 : 1,1 MS + 2 MA + 0,4 EWs + 1 EUn
- Ekstrem 1 : 1,1 MS + 2 MA + 0,5 LL + 0,3 Eqx + 1 Epy
- Ekstrem 2 : 1,1 MS + 2 MA + 0,5 LL + 1 Eqx + 0,3 Epy

- h) Serviceability 1 : 1 MS + 1 MA + 1 LL + 1 EWs + 1 EUn
- i) Serviceability 2 : 1 MS + 1 MA + 1,3 LL + 1 EUn
- j) Serviceability 3 : 1 MS + 1 MA + 0,8 LL + 1 EUn
- k) Serviceability 4 : 1 MS + 1 MA + 0,7 EWs + 1 EUn
- l) Fatigue : 0,75 LL

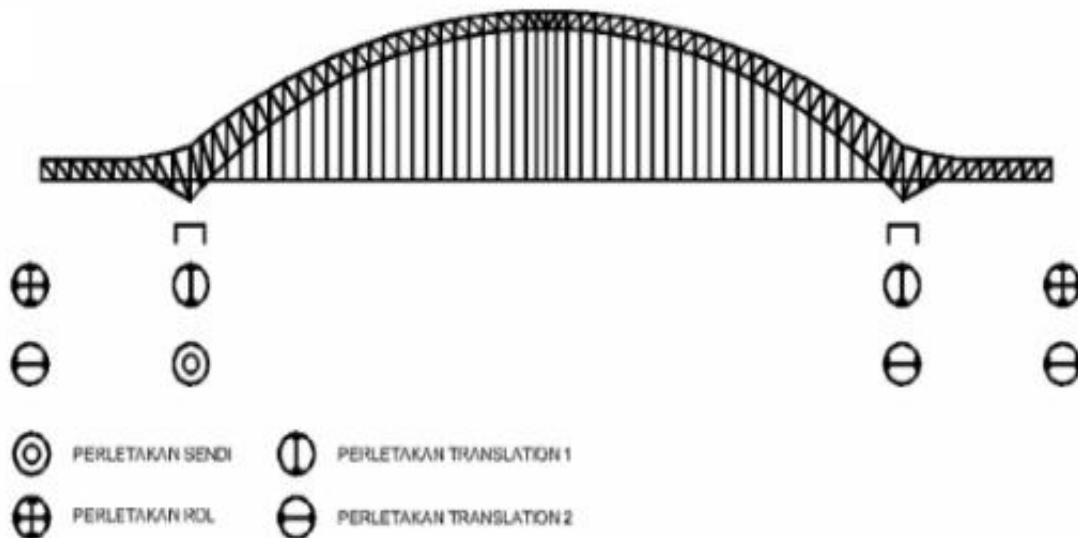
Pemodelan Struktur Utama Jembatan

Jembatan dimodelkan dengan *software* analisis struktur yaitu SAP2000. Adapun permodelan jembatan sebagaimana pada **Gambar 5(a)**. Perletakkan yang digunakan pada lantai kendaraan adalah sendi dan rol. Sistem perletakkan dirancang agar mampu menahan gaya horizontal maupun vertikal yang timbul akibat beban kerja pada struktur jembatan Desain perletakkan jembatan sesuai dengan **Gambar 5(b)**.

(a)



(b)



Gambar 5. (a) Permodelan jembatan busur rangka baja menggunakan SAP2000 dan penggunaan profil pada jembatan dan **(b)** Desain perletakkan jembatan

Perencanaan Tie Beam, Batang Busur, dan Batang Rangka Struktur

Perencanaan elemen struktur jembatan meliputi tie beam, batang busur, dan batang rangka struktur menggunakan profil baja kotak (BOX) dan profil WF. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi beban ultimate, seluruh elemen memiliki kapasitas tarik, tekan, geser, momen, dan torsi yang lebih besar daripada beban rencana. Tie beam dengan profil BOX 1400.800.50.50 mampu menahan gaya tarik hingga 7.749.000 kg dan gaya tekan 815.220 kg. Batang busur menggunakan profil BOX 1500.800.65.65 memiliki kapasitas tarik 10.649.340 kg serta kapasitas momen dan torsi yang besar, sehingga aman terhadap beban ultimit. Batang rangka struktur dengan profil WF 700.600.26.22 juga dinyatakan aman karena kapasitas aksial dan geser lebih tinggi daripada beban rencana. Secara keseluruhan, hasil

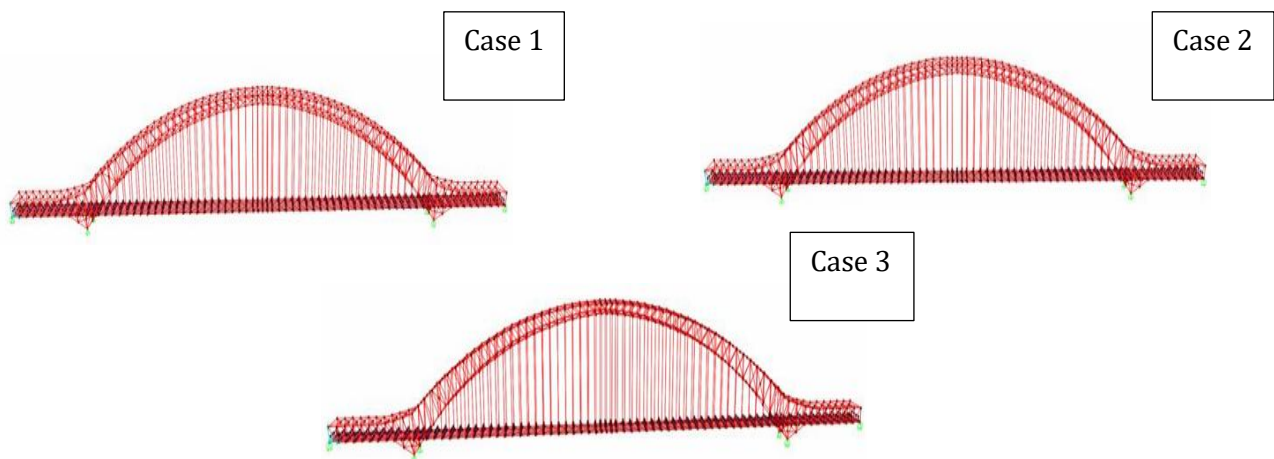
perencanaan memperlihatkan bahwa semua elemen utama jembatan memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas. Hasil perencanaan elemen struktur jembatan tie beam, batang busur, dan batang rangka struktur disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil desain dan kontrol kapasitas tie beam, batang busur, dan batang rangka struktur

Perencanaan		Tie Beam	Batang Busur	Batang Rangka Struktur	
Profil Penampang		BOX 1400.800.50.50	BOX 1500.800.65.65	WF 700.600.26.22	
Aksial	Tarik (Kg)	Beban Ultimate	6594917	8546315	1629448
		Kapasitas	7749000	10649340	1675260
		Cek	OK	OK	OK
	Tekan (Kg)	Beban Ultimate	815220	8546315	42359
		Kapasitas	5274739	10553934	1486732
		Cek	OK	OK	OK
Geser	Sumbu X (Kg)	Beban Ultimate	49325	911652	-
		Kapasitas	1476000	1642972 5	-
		Cek	OK	OK	-
	Sumbu Y (Kg)	Beban Ultimate	49325	363691	-
		Kapasitas	1199250	1918800	-
		Cek	OK	OK	-
Momen	Sumbu X (Kg.cm)	Beban Ultimate	15870825	463972100	-
		Kapasitas	355162500	517644270	-
		Cek	OK	OK	-
	Sumbu Y (Kg.cm)	Beban Ultimate	6800021	193950300	-
		Kapasitas	238927500	344590650	-
		Cek	OK	OK	-
Torsi (Kg.cm)	Beban Ultimate	28548589	43508900	-	
	Kapasitas	206493461	273721069 3	-	
	Cek	OK	OK	-	

Perencanaan Penggantung Jembatan

Evaluasi gaya tarik kabel mencakup simulasi kondisi ekstrem, khususnya skenario kegagalan sebagian elemen sistem. Analisis dilakukan terhadap tiga kondisi representatif, yakni: Case pertama mencerminkan keadaan ideal di mana seluruh kabel berfungsi normal; Case kedua merepresentasikan kegagalan pada kabel tengah; dan Case ketiga mengasumsikan kegagalan terjadi pada kabel ujung dengan panjang maksimum. Masing-masing skenario dianalisis untuk menilai distribusi gaya dan kinerja sistem secara menyeluruh. Ketiga kondisi ini ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Simulasi terburuk pada perhitungan kabel jembatan

Perencanaan kabel penggantung jembatan mempertimbangkan kondisi ekstrem dengan tiga skenario simulasi, yaitu kondisi normal, kegagalan kabel tengah, dan kegagalan kabel ujung dengan panjang maksimum. Hasil analisis menunjukkan gaya tarik yang terjadi pada kabel tetap dalam batas aman. Kabel penggantung yang digunakan berdiameter 97 mm dengan berat jenis 46,7 kg/m, memiliki kapasitas sebesar 463,9 ton lebih besar dibanding beban tarik total sebesar 279,46 ton, sehingga dinyatakan aman terhadap beban rencana. Sambungan pada tie beam menggunakan baut mutu A490

dengan pelat sambung mutu BJ 41, serta pelat simpul setebal 36 mm untuk menjamin kekuatan sistem sambungan. Hasil perencanaan kabel penggantung secara umum dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil analisis penggantung jembatan

Parameter	Nilai Hasil	Keterangan
Diameter kabel ($\emptyset$)	97 mm	Kabel utama
Berat jenis kabel	46,7 kg/m	
Beban tarik total (V_{total})	279,46 ton	< kapasitas 463,9 ton → OK
Minimum break load	463,9 ton	Kapasitas kabel
Baut sambungan tie beam	$\emptyset 24$ mm A490 ($F_{nv} = 579$ MPa)	24 baut
Luas baut (A_b)	572,55 mm ²	
Baut tambahan	$\emptyset 36$ mm A490 (24 buah)	
Tebal pelat simpul	36 mm	
Diameter kabel ($\emptyset$)	97 mm	Kabel utama
Berat jenis kabel	46,7 kg/m	

Perencanaan Portal Akhir

Hasil desain dan evaluasi kapasitas elemen struktur portal akhir terbagi menjadi daerah portal akhir dan tengah yang dapat dilihat pada Tabel 8, baik pada batang vertikal maupun horizontal. Pada elemen batang vertikal portal akhir digunakan profil penampang kotak (BOX 800.600.30.30). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas tarik sebesar 2.966.760 kg lebih besar terhadap beban ultimate 680.556 kg, sehingga dinyatakan aman. Demikian pula pada kondisi tekan, kapasitas 2.811.772 kg mampu menahan beban ultimate 680.556 kg. Evaluasi terhadap gaya geser pada sumbu X dan Y serta momen lentur juga memperlihatkan bahwa seluruh nilai kapasitas elemen melampaui beban ultimate yang bekerja. Pada batang horizontal portal akhir dengan profil WF 600.400.12.19, beban aksial relatif kecil dibandingkan kapasitasnya, baik untuk kondisi tarik maupun tekan. Kapasitas tekan 186.905 kg, misalnya, masih mampu menahan beban ultimate sebesar 12.252 kg. Hasil analisis kapasitas geser dan momen, yang menunjukkan bahwa kapasitas elemen melebihi beban rencana sehingga struktur dinyatakan aman. Sementara itu, portal akhir tengah menggunakan batang vertikal dengan penampang kotak (BOX 1400.800.50.50). Hasil analisis menunjukkan kapasitas tarik 7.749.000 kg dan kapasitas tekan 7.526.651,13 kg, keduanya secara signifikan lebih tinggi daripada beban ultimate masing-masing 1.618.944 kg. Kondisi serupa terlihat pada kapasitas geser dan momen, di mana kapasitas elemen lebih besar dari beban ultimate yang bekerja. Batang horizontal portal akhir tengah menggunakan profil WF yang sama dengan portal akhir. Seluruh elemen berada dalam kondisi aman dimana kapasitas lebih besar dari beban ultimate. Hasil perencanaan portal akhir dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil desain dan kontrol kapasitas elemen struktur portal akhir

Perencanaan			Portal Akhir		Portal Akhir Tengah	
			Batang Vertikal	Batang Horizontal	Batang Vertikal	Batang Horizontal
Profil Penampang			BOX 800.600.30.30	WF 600.400.12.19	BOX 1400.800.50.50	WF 600.400.12.19
Aksial	Tarik (Kg)	Beban Ultimate	680556	-	1618941	-
		Kapasitas	2966760	-	7749000	-
		Cek	OK	-	OK	-
	Tekan (Kg)	Beban Ultimate	680556	12252	1618941	92321
		Kapasitas	2811772	186905	7526651 13	186905
		Cek	OK	OK	OK	OK
Geser	Arah Sumbu X (Kg)	Beban Ultimate	297	20810	27090 35	2361
		Kapasitas	819180	255052 8	2398500	255052 8
		Cek	OK	OK	OK	OK
	Arah Sumbu Y (Kg)	Beban Ultimate	136992	23184	823761 47	2361
		Kapasitas	409590	201916 8	1199250	201916 8
		Cek	OK	OK	OK	OK
Momen (Kg.cm)		Beban Ultimate	80561916	16474280	47264740	16474280
		Kapasitas	81453060	19789470	355162500	19789470
		Cek	OK	OK	OK	OK

Sambungan pada Rangka Utama

Pada Tabel 9, hasil desain analisis sambungan baut pada rangka utama jembatan terlampir. Pada elemen frame, digunakan baut Ø27 mm mutu A490 ($T_b = 334$ N) dengan jumlah bervariasi, yaitu 32 buah untuk profil WF 600.600.26.22 dan 112 buah untuk BOX 1400.800.30.30. Pada elemen suspender cable, digunakan baut Ø24 mm mutu A490 ($T_b = 257$ N) dengan total 24 buah, sedangkan tie beam menggunakan baut Ø36 mm mutu A490 ($T_b = 595$ N) dengan jumlah 198 buah. Variasi diameter, mutu, dan jumlah baut ini memastikan setiap sambungan mampu menahan beban sesuai fungsinya, sehingga sistem sambungan dinyatakan aman dan tidak menjadi titik lemah struktur jembatan. Hasil desain perencanaan sambungan baur rangka utama jembatan dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Sambungan baut rangka utama jembatan

Elemen Jembatan	Sambungan Baut	Jumlah Baut
Frame	Diameter : 27 mm Luas Baut : 1017.88 mm ² Mutu Baut : A490 ($T_b = 334$ N)	Frame 178 = WF 600.600.26.22 → 32 D27
		Frame 192 = WF 600.600.26.22 → 32 D27
		Frame 294 = BOX 1400.800.30.30 → 112 D27
		Frame 293 = BOX 1400.800.30.30 → 112 D27
Suspender Cable	Diameter : 24 mm Luas Baut : 452,38 mm ² Mutu Baut : A490 ($T_b = 257$ N)	Number of Bolts = 24 D27
Tie Beam	Diameter : 36 mm Luas Baut : 572,55 mm ² Mutu Baut : A490 ($T_b = 595$ N)	Number of Bolts = 198 D27

Pengecekan Lendutan

Dalam perencanaan struktur jembatan, aspek lendutan menjadi salah satu kriteria utama yang harus dikendalikan. Besarnya lendutan aktual pada struktur tidak diperbolehkan melampaui batas lendutan ijin yang ditentukan oleh standar. Mengacu pada SNI 1725:2016, batas lendutan ijin pada jembatan umumnya diatur sebesar $L/1000$, dengan L adalah panjang bentang struktur. Lendutan jembatan dapat diperoleh dari output SAP 2000, besar lendutan jembatan dapat dilihat pada **Gambar 7**.

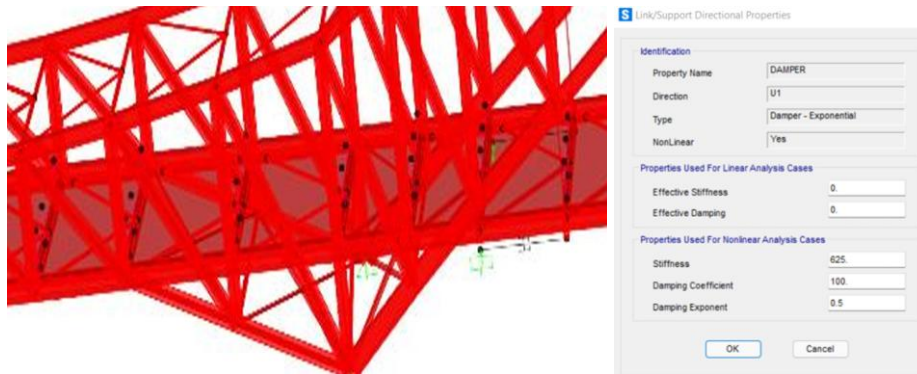


Gambar 7. Defleksi jembatan SAP 2000

$$\Delta_{Lajur D} = 325 \text{ mm} < \Delta_{Ijin} = 354 \text{ mm} \dots \text{OK!}$$

Perencanaan Damper Jembatan

Damper FVD dimodelkan sebagai link di SAP2000 untuk menganalisis pengaruhnya terhadap perpindahan struktur. Efektivitas diuji dengan membandingkan model tanpa dan dengan damper. Permodelan FVD pada SAP 2000 sesuai dengan **Gambar 8** dan **Tabel 10**.



Gambar 8. Permodelan FVD pada perletakkan jembatan

Tabel 10. Pengaruh penggunaan damper pada perpindahan dasar jembatan

No	Point Perletakkan	Perpindahan Tanpa Damper	Perpindahan dengan Damper	Presentase Penurunan (%)
1	85	17,61	9,72	45
2	185	30,25	29,34	3
3	1096	17,08	9,48	45
4	996	37,97	34,74	9
Rata-rata Reduksi Defleksi				25

Hasil analisis pada Gambar 8 dan Tabel 10 menunjukkan bahwa penerapan damper FVD mampu mereduksi perpindahan struktur jembatan dengan rata-rata penurunan sebesar 25%. Reduksi maksimum terjadi pada titik perletakan 85 dan 1096 dengan nilai 45%, sedangkan titik 185 hanya mengalami penurunan 3%. Variasi ini mengindikasikan bahwa efektivitas damper sangat bergantung pada posisi pemasangan dan respons dinamis lokal struktur. Secara keseluruhan, penggunaan damper terbukti meningkatkan kinerja jembatan dalam menekan deformasi berlebih, sehingga dapat direkomendasikan sebagai elemen peredam energi tambahan pada perencanaan jembatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian analisis yang telah dilakukan secara sistematis terhadap modifikasi perencanaan struktur Jembatan Sembayat Baru II, yang mengintegrasikan penggunaan pelat orthotropik sebagai lantai kendaraan serta penambahan perangkat peredam berupa FVD maka dapat disusun kesimpulan sebagai berikut:

- Jembatan yang dirancang memiliki konfigurasi geometrik dengan panjang bentang total mencapai 354 meter dan lebar keseluruhan 13 meter. Lebar efektif jalur lalu lintas ditetapkan sebesar 11 meter yang dapat mengakomodasi empat lajur kendaraan, serta dilengkapi dengan fasilitas trotoar selebar 1 meter pada masing-masing sisi jembatan untuk kebutuhan pejalan kaki.
- Dari hasil perhitungan teknis elemen-elemen struktural utama jembatan busur, diperoleh beberapa spesifikasi teknis sebagai berikut:
 - Pelat lantai kendaraan didesain menggunakan sistem pelat orthotropik berbahan baja mutu tinggi BJ55, dengan tulangan berupa profil T 400.150.12.22, serta ketebalan pelat lantai ditentukan sebesar 15 mm untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pelat terhadap beban lalu lintas.
 - Gelagar melintang dirancang menggunakan profil GIRDER 650.350.30.40 dari baja BJ55 untuk mendistribusikan beban secara merata ke sistem struktur utama.
 - Sistem ikatan angin menggunakan material baja BJ55 dengan penampang profil yang dirujuk berdasarkan standar pada Tabel 4.8, guna menjamin kestabilan lateral struktur terhadap pengaruh angin.

4. Tie beam atau balok tarik utama dirancang dengan penampang kotak (box girder) berukuran 1400.800.50.50 dari baja BJ55, serta diperkuat oleh pengaku longitudinal dan transversal untuk meningkatkan kekakuan dan kestabilan struktural.
 5. Kabel penggantung yang berfungsi menghubungkan pelat lantai dengan elemen busur menggunakan batang tarik Macalloy M100 berdiameter 97 mm, yang dirancang dengan kapasitas putus minimum mencapai 4551 kN, guna menjamin ketahanan terhadap beban tarik maksimum.
 6. Batang busur sebagai elemen utama penahan beban vertikal dan lateral didesain menggunakan baja BJ55 dengan profil penampang sesuai dengan ketentuan pada Lampiran C dokumen perencanaan.
- c) Proses pemodelan dan analisis perilaku struktur jembatan busur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak rekayasa struktur SAP2000, yang memungkinkan simulasi respons struktur secara menyeluruh terhadap berbagai kombinasi beban, termasuk pengaruh perangkat peredam.
- d) Hasil analisis pemodelan menunjukkan bahwa penerapan FVD, yang dimodelkan sebagai elemen link atau support dalam arah longitudinal, memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan perpindahan (*displacement*) pada struktur. Efektivitas damper diuji melalui perbandingan antara dua skenario permodelan, yakni model tanpa damper dan model dengan damper. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa reduksi defleksi maksimum yang dicapai berkisar antara 3% hingga 45% tergantung pada titik pengamatan, dengan nilai rata-rata penurunan sebesar 25%, yang mengindikasikan bahwa penambahan FVD dapat meningkatkan performa dinamik struktur secara efektif.

REFERENSI

- Arslan, A., 2020. Bridges as City Landmarks: A Critical Review on Iconic Structures. *Journal of Design Studio*, pp.85–99. <https://doi.org/10.46474/jds.798072>.
- Chen, W.-F. and Duan, L., 2014. *Bridge Engineering Handbook Super Structure Design*. Civ. Eng. (N.Y.), .
- Khedmatgozar Dolati, S.S., Mehrabi, A. and Khedmatgozar Dolati, S.S., 2021. Application of viscous damper and laminated rubber bearing pads for bridges in seismic regions. *Metals*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/met11111666>.
- Kiral, A., Gurbuz, A. and Ustabas, I., 2025. The Seismic Response Evaluation of an Existing Multi-span Reinforced Concrete Highway Bridge in the Presence of Linear and Nonlinear Viscous Dampers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(11), pp.8317–8335. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09265-2>.
- Mauliana, Y. and Saputra, F., 2024. Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. [online] 5(2). Available at: <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselerasi/article/view/10189/3204>
- Propika, J. and Septiarsilia, Y., 2020. *Re-Design Jembatan THP dengan Sistem Box Girder Segmental*.
- Sun, N., Zheng, X., Li, Y., Zhao, Y., Yuan, H. and Zhou, M., 2024. Numerical Study on the Mechanical Performance of a Flexible Arch Composite Bridge with Steel Truss Beams over Its Entire Lifespan. *Sustainability (Switzerland)*, 16(14). <https://doi.org/10.3390/su16146041>.
- Sunarjo, T. dan Sugeng, P., 2010. Gempa Bumi Edisi Populer. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Tiwari, H., Rai, S.P. and Shivangi, K., 2016. Bridging the gap or broadening the problem? *Natural Hazards*, 84(1), pp.351–366. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2422-x>.
- Yi, J., Li, J. and Guan, Z., 2018. Shake Table Studies on Viscous Dampers in Seismic Control of a Single-Tower Cable-Stayed Bridge Model under Near-Field Ground Motions. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 12(5). <https://doi.org/10.1142/S1793431118500112>.
- Zhang, X., Deng, Z., Fang, G. and Ge, Y., 2022. Theoretical Analysis of Ultimate Main Span Length for Arch Bridge. *Sustainability (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142417043>.
- si Nasional (BSN), 2016. SNI 1725:2016 – Beban Minimum untuk Perancangan Jembatan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2015. SNI 1729:2015 – Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- ASCE, 2016. ASCE/SEI 7-16 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2019. SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Brockenbrough, R. L., 1994. Highway Engineering Handbook. New York: McGraw-Hill.
- Wai-Fah, C. & Duan, L., 2014. Bridge Engineering Handbook: Substructure Design. 2nd Edition. Boca Raton: CRC Press.
- Heins, C. P. & Afirmage, E. G., 1990. Design of Modern Steel Structures. New York: Wiley.
- Setiawan, A., 2015. Struktur Baja: Konsep dan Aplikasi untuk Bangunan Gedung. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan (studi kasus : Mall Panakkukang jl. Boulevard, Kota Makassar)

Christy Agata Makupiola ^{a*}

^a Institut Kesejatan dan Teknologi Graha Medika Kotamobagu, Indonesia

Corresponding Author:

Email:

makupiolachristy@gmail.com

Keywords:

Degree of saturation, mall
panakkukang, road performance,
side friction

Received :

Revised :

Accepted :

Abstrak : *One of the disturbances to road performance that can cause traffic flow conflicts is the entry and exit of vehicles on the roadway, vehicles stopping and parking, as well as vehicles decelerating. The main objective of this study is to determine the extent to which side friction affects the performance of the Boulevard lane. Observations were conducted on Saturday, Sunday, and Monday. Data collection was carried out through direct field observation to obtain data on side friction, traffic flow, and the average vehicle speed, with a 15-minute interval. The data were then analyzed using the PKJI 2014 method. After going through several stages of data analysis, it can be concluded that traffic flow has the highest correlation value (R^2), with vehicle entry and exit on the roadway showing a value of 0.5122. Meanwhile, the relationship between side friction and the degree of saturation has a correlation (R^2) of 0.947. The results of the analysis indicate that 94.7% of the changes in side friction significantly affect the degree of saturation.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Hambatan samping adalah salah satu penyebab kemacetan yang paling sering dikaitkan dengan aktivitas sosial di badan jalan. Ini disebabkan oleh jalanan yang dipenuhi kendaraan parkir, pejalan kaki yang menyeberang dan lalu lalang, serta toko dan restoran yang tidak memiliki ruang parkir. Hal ini memengaruhi jalan-jalan kota secara tidak langsung, terutama di sekitar pusat perbelanjaan dan struktur lainnya, termasuk hotel, pertokoan, kafe, dan rumah makan. Karena beberapa jalan Boulevard tidak memiliki tempat parkir, sehingga menyebabkan lalu lintas menjadi lebih padat. Jalan ini memiliki banyak aktivitas yang terjadi, termasuk pejalan kaki, kendaraan pribadi, dan kendaraan yang parkir di pinggir jalan.

Kecepatan arus lalu lintas pasti akan menurun karena hambatan samping dan volume lalu lintas yang meningkat di Jalan Bougenville. Akibatnya, jalan menjadi sempit, kecepatan kendaraan menurun, waktu perjalanan bertambah, kapasitas jalan berkurang, tingkat pelayanan jalan menurun, dan arus lalu lintas menjadi tidak lancar.

Beberapa peneliti yang telah meneliti kinerja jalan antara lain: Syaputra et al. (2015) meneliti efek hambatan samping di Jalan Proklamator Raya hingga Jalan Pasar Bandarlaja Plaza serta menemukan solusi untuk masalah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Jalan Proklamator Raya memiliki tingkat pelayanan terburuk (F). Hal ini disebabkan oleh hambatan samping yang luar biasa sebesar 351 SF per jam, terutama di sekitar pusat perdagangan. Kurniawan (2016) meneliti pengaruh hambatan samping terhadap tingkat pelayanan jalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari Jumat terdapat 1.243,2 hambatan samping di Jalan Imam Bonjol Kota Metro. Kondisi ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas dipaksakan dengan tingkat pelayanan jalan F, kecepatan relatif rendah, dan sering berhenti, yang mengakibatkan antrian kendaraan lebih lama. Citra et al. (2020) menganalisis pengaruh hambatan samping terhadap kinerja ruas Jalan Veteran. Marusange et al. (2015) meneliti jenis hambatan samping yang menyebabkan kemacetan di lokasi penelitian. Senduk et al. (2018) menggunakan metode survei dan observasi serta analisis perhitungan kinerja lalu lintas dengan menggunakan MKJI 1997. Hasil penelitian menunjukkan tingkat pelayanan jalan B, dengan derajat kejenuhan 0,4279 dan volume kendaraan sebesar 993,2 smp/jam. Andar (2018) menemukan bahwa pedagang kaki lima dan kendaraan parkir/berhenti merupakan hambatan samping utama di Jalan Sisingamangaraja. Nduru et al. (2020) menggunakan metode survei dan observasi berdasarkan MKJI

1997 dan menemukan bahwa hambatan samping tertinggi berkisar antara 1.882–2.016 smp/jam, dengan volume rata-rata 1.866–2.074 smp/jam. Audina et al. (2020) menemukan bahwa tingkat pelayanan jalan menerima nilai D akibat hambatan samping di Jalan Tidar pada Selasa, 17 Desember 2019, pukul 16.00–17.00. Ini menunjukkan bahwa meskipun arus mendekati tidak stabil, kecepatan tetap dapat dikendalikan. Zultan dan Kamsiah (2018) menemukan bahwa hubungan antara kecepatan kendaraan dengan kendaraan yang berhenti memiliki nilai korelasi tertinggi, dengan nilai 0,260 untuk volume lalu lintas dan 0,495 untuk kecepatan kendaraan. Muhammad et al. (2018) menggunakan metode survei kendaraan bergerak untuk menganalisis hasil penelitian secara deskriptif melalui uji regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis hambatan samping yang paling banyak memengaruhi kinerja jalan raya adalah sepeda motor yang keluar dari jalan, dengan selisih nilai R persegi dari persamaan regresi linier sebesar 7,8%. Penelitian oleh Saputra Parada Afkiki meneliti kualitas pelayanan angkutan penumpang laut di Pelabuhan Medan Belawan, Provinsi Sumatera Utara. Informasi diperoleh dari penumpang yang menggunakan layanan Terminal Penumpang Bandar Deli Belawan melalui daftar pertanyaan yang dirancang khusus untuk memastikan bahwa hasil dan informasi yang diperoleh relevan serta konsisten dengan tujuan penelitian.

2. DATA DAN METODE

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Jalan Boulevard, yang terletak tepat di belakang Mall Panakkukan Kota Makassar memiliki panjang 200 meter dan spesifikasi jalan 4/2T dengan lebar masing-masing ruas 7m, lajur 3,5m, median 2m dan bahu 0,5m. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) lokasi penelitian (b) lokasi penelitian tampak atas

2.2. Data dan Metode

Data primer terdiri dari data inti atau penting yang dikumpulkan langsung dari lapangan, seperti geometri, arus lalu lintas, hambatan samping, dan kecepatan rata-rata kendaraan. Data sekunder terdiri dari peta lokasi penelitian dan jumlah orang yang tinggal di Makassar. Data dikumpulkan selama tiga hari, dan libur Sabtu dan minggu dan hari kerja senin. Data dikumpulkan selama tiga sesi. Sesi pagi berlangsung dari pukul 08.00 hingga 10.00 WITA, sesi siang dari pukul 13.00 hingga 15.00 WITA, dan sesi sore berlangsung dari pukul 17.00 hingga 19.00 WITA.

A. Waktu Penelitian

Selama tiga hari (Sabtu, Minggu, dan Senin), survei langsung di lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data. Survei ini melibatkan arus lalu lintas, hambatan samping dan kecepatan rata-rata. Ini juga dilakukan pada jam puncak atau jam sibuk.

1. Jam 08.00-10.00 (Pagi)
2. Jam 13.00-15.00 (Siang)
3. Jam 17.00-19.00 (Sore)

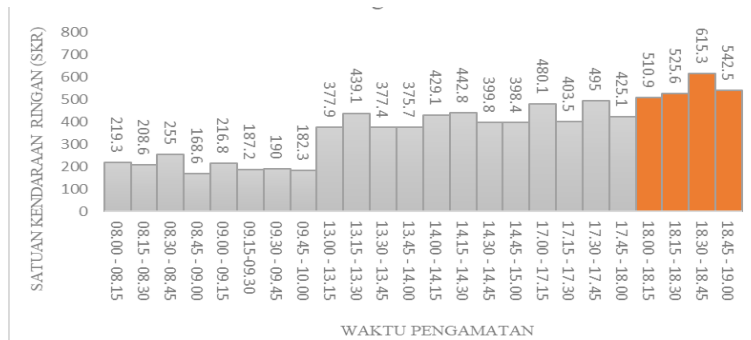
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Arus lalu lintas

Dengan mengubah setiap jenis kendaraan kedalam satuan kendaraan ringan (skr) selama satu jam dan setiap 15 menit, hasil pengamatan dapat digunakan untuk menghitung arus lalu lintas di suatu ruas jalan. Adapun untuk menghitung arus lalu lintas digunakan **Persamaan 1**.

$$(KR \times nKR) + (KB \times nKB) + (SM \times nSM) \quad \text{Pers. 1)}$$

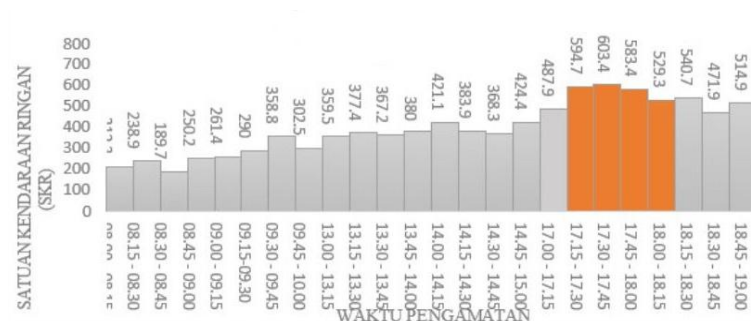
Selanjutnya, besarnya arus lalu lintas jam puncak pada ruas jalan dihitung berdasarkan besarnya arus lalu lintas terbesar yang sebelumnya diubah ke dalam satuan kendaraan ringan (skr). Hasilnya ditunjukkan pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Arus Puncak Pada Hari Sabtu



Gambar 4. Arus Puncak Pada Hari Minggu



Gambar 5. Arus Puncak Pada Hari Senin

Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan bahwa pada hari Senin, antara pukul 17.15 WITA dan 18.15 WITA, terjadi arus puncak untuk dua arah sebesar 2313,4 skr/jam; pada hari Sabtu, antara pukul 18.00 WITA dan 19.00 WITA, terjadi 2194,3skr/jam; dan pada hari Minggu, antara pukul 17.00 WITA dan 18.00 WITA, terjadi total 2335,8skr/jam. Arus puncak terjadi pada jam-jam sibuk dikarenakan jam tersebut

merupakan jam pulang kerja serta banyaknya aktivitas masyarakat di sekitar pusat perbelanjaan.

3.2. Hambatan samping

Aktivitas di luar segmen jalan dapat menyebabkan konflik dan mempengaruhi pergerakan arus lalu lintas, yang sering kali mengirangi kinerja jalan [8]. Mobil yang masuk dan keluar lahan samping jalan, orang yang menyebar atau berjalan di sepanjang bagian jalan dan kendaraan lambat seperti sepeda, becak, gerobak dan lainnya. Berikut menunjukkan hambatan samping selama tiga hari pengamatan berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan dengan tabel bobot kejadian. Adapun hasil pengamatan ditunjukkan pada **Gambar 6**, **Gambar 7**, dan **Gambar 8**.



Gambar 6. Hambatan Samping pada hari Sabtu



Gambar 7. Hambatan Samping pada hari Minggu



Gambar 8. Hambatan Samping pada Hari Senin

Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan Lokasi penelitian selama hari Sabtu dan Minggu, hambatan samping tertinggi terjadi pada pukul 17.00 WITA hingga 18.00 WITA, dengan total hambatan samping sebesar 504.5skr/jam. Pada hari Senin, hambatan samping tertinggi terjadi pada pukul 18.00 WITA hingga 19.00 WITA dengan total hambatan samping sebesar 761.8skr/jam.

a) Kapasitas Jalan

Jumlah arus yang dapat mengalir melalui suatu jalan dalam waktu tertentu disebut kapasitas jalan [11]. Kapasitas jalan dapat dipengaruhi oleh banyaknya hal, seperti lebar lajur, kebebasan lateral, bahu

jalan, apakah ada median, kondisi permukaan jalan, alinemen trotoar, dll [6]. Analisis kapasitas jalan yang digunakan mengacu pada PKJI 2014 yang ditunjukkan oleh **Persamaan 2**.

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \quad \text{Pers. 2)}$$

b) Derajat kejenuhan

Untuk menghitung nilai derajat kejenuhan (DS) digunakan persamaan yang ditunjukkan oleh **Persamaan 3**.

$$DS = C / Q \quad \text{Pers. 3)}$$

Berdasarkan data dan hasil perhitungan maka didapat derajat kejenuhan selama tiga hari pengamatan seperti yang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Derajat Kejenuhan Selama 3 hari pengamatan

Waktu (WIB)	DJ Sabtu	DJ Minggu	DJ Senin
08.00–09.00	0.285	0.359	0.290
09.00–10.00	0.267	0.376	0.388
13.00–14.00	0.541	0.573	0.514
14.00–15.00	0.549	0.469	0.584
17.00–18.00	0.621	0.804	0.782
18.00–19.00	0.756	0.643	0.708

Tabel 1 menunjukkan bahwa derajat kejenuhan tertinggi adalah 0,804 pada jam puncak selama tiga hari pengamatan di Jalan Boulevard Kota Makassar, yang terjadi pada hari Minggu dari pukul 17.00 WITA hingga 18.00 WITA.

c) Kecepatan rata-rata

Kecepatan kendaraan, yang dihitung dalam km/jam, adalah ukuran yang menunjukkan jarak tempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuhnya. Hasil pengamatan selama tiga hari menunjukkan waktu tempuh kendaraan ringan menggunakan stopwatch dengan jarak 50 m. Dua kendaraan ringan disurvei dalam 15 menit, dan hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Survei Kecepatan Rata-rata kendaraan ringan

Hari	Kecepatan rata-rata kendaraan Ringan (km/jam)
Sabtu	16.2
Minggu	13.6
Senin	17.9
Jumlah	47.6
Rata-rata	15.9

3.3. Arus lalu lintas dan hambatan samping

Selama tiga hari pengamatan arus lalu lintas lintasrata-rata mencapai 2194,3 skr/jam pada hari Sabtu, 2335,8 skr/jam pada hari Minggu, dan 2272 skr/jam pada hari Senin. Pada hari Minggu, antara jam 17.00 dan 18.00 WITA, terjadi volume tertinggi sebesar 2335,8 skr/jam. Ini disebabkan oleh banyaknya aktivitas masyarakat di toko-toko, pusat perbelanjaan, dan aktivitas lainnya di jalan tersebut. Selain itu, jam tersebut adalah jam pulang kerja, yang mungkin merupakan faktor lain yang menyebabkan arus lalu lintas menjadi tinggi dan mempengaruhi kinerja jalan. Survei ini

mengumpulkan data tentang hambatan samping berikut: kendaraan berhenti atau parkir di bahu jalan pejalan kaki (sejajar dan menyebarang), kendaraan keluar atau masuk jalan, dan kendaraan lambat. Nilai hambatan samping tertinggi pada arus lalu lintas pada hari sabtu adalah 743,7 skr/jam pada pukul 18.00 WITA hingga 19.00 WITA, dan pada hari Minggu adalah 584,3 skr/jam pada pukul 17.00

WITA hingga 18.00 WITA. Selama tiga hari, jumlah kejadian hambatan samping rata-rata adalah 606,5 skr/jam per 200 meter per jam, yang menunjukkan kelas hambatan samping tinggi (T). Karena lokasi survei adalah daerah komersil yang padat dengan aktivitas masyarakat, kejadian hambatan samping pada hari Senin lebih rendah dari hari Sabtu dan Minggu.

3.4. Pengaruh hambatan samping terhadap kinerja jalan

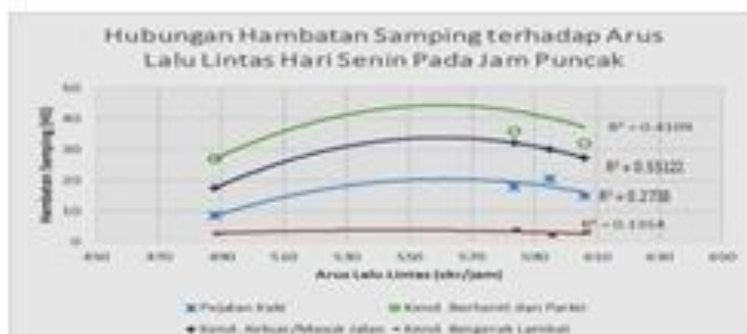
Berikut ini adalah parameter kinerja jalan yang diperlukan untuk mengukur dampak hambatan samping terhadap kinerja jalan :

a) Hubungan Hambatan Samping terhadap arus lalu lintas.

Gambar berikut menunjukkan pengaruh hambatan samping terhadap arus lalu lintas pada jam puncak tertinggi pada hari senin. **Tabel 3** dibuat dengan data perhitungan arus lalu lintas dan hambatan samping yang telah diperoleh sebelumnya. Adapun grafik hubungan H_s terhadap Q_{Skr} ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Tabel 3. Hambatan samping dan arus lalu lintas pada jam puncak

Waktu (WITA)	Arus Lalu Lintas	Jenis Hambatan Samping (skr/jam)			
		Pejalan Kaki	Kend. Berhenti/Parkir	Kend. Keluar/Masuk Jalan	Kend. Bergerak Lambat
17.00-17.15	487.9	8.5	27	17.5	2.8
17.15-17.30	594.7	20.5	52	30.1	2
17.30-17.45	606	15	32	27.3	3.2
17.45-18.00	583.4	18	36	32.2	4



Gambar 9. Grafik Hubungan H_s terhadap Q_{Skr}

Tabel 3 menunjukkan bahwa kendaraan keluar dan masuk badan jalan memiliki nilai korelasi (R^2) tertinggi dengan nilai 0,5122, diikuti oleh kendaraan berhenti dan parkir, kendaraan berhenti dan parkir, pejalan kaki, dan kendaraan lambat, masing-masing dengan nilai 0,4109, 0,2738, dan 0,1354. Ini menunjukkan bahwa kendaraan keluar dan masuk, kendaraan berhenti dan parkir, pejalan kaki dan kendaraan lambat memiliki dampak terbesar terhadap hambatan samping.

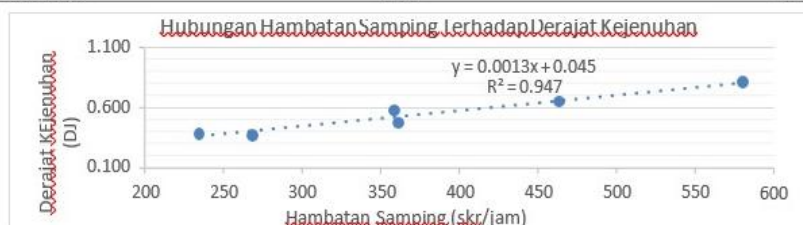
b) Hubungan Hambatan Samping Terhadap Derajat Kejenuhan

Tabel 4 menunjukkan hubungan hambatan samping terhadap derajat kejenuhan pada saat jam puncak. Data ini diperoleh dari perhitungan hambatan samping dan derajat kejenuhan yang telah diperoleh sebelumnya.

Tabel 4. Hubungan hambatan samping dan derajat kejenuhan pada hari minggu

Tabel 4 Hambatan Samping dan Derajat Kejenuhan Pada Hari Minggu

Waktu	Hambatan Samping (skr/jam)	Derajat Kejenuhan
08.00-09.00	268.6	0.359
09.00-10.00	234.7	0.376
13.00-14.00	359	0.573
14.00-15.00	361.5	0.469
17.00-18.00	580.7	0.804
18.00-19.00	463.7	0.643

**Gambar 10.** Grafik hubungan hambatan samping terhadap derajat kejenuhan

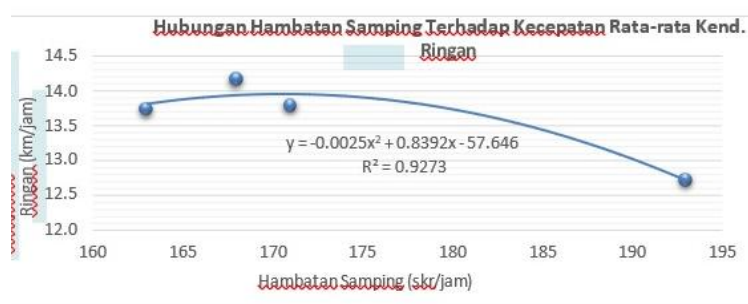
Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai korelasi (R^2) antara hambatan samping dan derajat kejenuhan adalah sebesar 0.947, artinya hambatan samping memberikan pengaruh sangat kuat terhadap nilai derajat kejenuhan. Dimana semakin tinggi jumlah kejadian hambatan samping maka nilai derajat kejenuhan akan semakin tinggi juga. Derajat kejenuhan tertinggi terjadi pada pukul 17.00 WITA–18.00 WITA sebesar 0,804, dimana hambatan samping tertinggi juga terjadi sebesar 580,7 kejadian.

c) Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Kecepatan Rata-Rata

Berdasarkan data perhitungan hambatan samping kecepatan dan arus lalu lintas pada jam puncak yang telah diperoleh sebelumnya kemudia dirinci pada **Tabel 5** maka dapat ditentukan hubungan kecepatan terhadap hambatan samping pada jam puncak selama 1 jam dengan interval waktu 15 menit dapat dilihat melalui **Gambar 11**.

Tabel 5. Kecepatan rata-rata kendaraan dan arus lalu lintas

Waktu (WIB)	Hambatan Samping (skr/jam)	Kecepatan Rata-rata Kend. Ringan (km/jam)
17.00 – 17.15	171	13.8
17.15 – 17.30	168	14.2
17.30 – 17.45	163	13.7
17.45 – 18.00	193	12.7

**Gambar 11.** Grafik Hubungan HS terhadap QSKr**Gambar 11.** Grafik hubungan HS terhadap QSKr

Hubungan antara hambatan samping dan kecepatan rata-rata kendaraan ringan jelas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11, yang menunjukkan bahwa hambatan samping tertinggi terjadi antara pukul 17.45 WITA dan 18.00 WITA, dengan 193 kejadian/jam dan kecepatan rata-rata jam 12,7km/jam.

4. KESIMPULAN

Pertama, Menurut hasil pengamatan dan analisis samping yang dilakukan kendaraan keluar dan masuk badan jalan adalah hambatan samping yang paling mempengaruhi arus lalu lintas dengan 51,2%. Setelah itu kendaraan berhenti parkir, pejalan kaki dan akhirnya kendaraan bergerak lambat. Selanjutnya berdasarkan hasil pengamatan dan analisis kinerja jalan arus lalu lintas jam puncak tercatat pada hari minggu sebesar 2335,8skr/jam, pada hari senin sebesar 2313,4skr/jam, dan pada hari sabtu sebesar 2194,3skr/jam. Ini menunjukkan bahwa arus lalu lintas jam puncak terbesar terjadi pada hari minggu dengan derajat kejenuhan 0,804 dan kondisi arus lalu lintas mendekati arus tidak stabil. *Kedua*, Pengaruh hambatan samping terhadap arus lalu lintas berbanding terbalik dengan nilai korelasi tertinggi sebesar 51,2% untuk kendaraan keluar masuk, pengaruh hambatan samping terhadap derajat kejenuhan berbanding lurus dengan nilai korelasi sebesar 94,7%. Dan pengaruh hambatan samping terhadap kecepatan rata-rata kendaraan berbanding terbalik dengan nilai korelasi sebesar 9,9%. Ini menunjukkan bahwa hambatan samping sangat berdampak pada penurunan kinerja jalan.

Saran

Supaya tidak terjadi kemacetan, diperlukan penambahan lahan parkir untuk menampung kendaraan dengan lebih baik. Selain itu, menanggapi hasil evaluasi yang telah dilakukan, perlu adanya tindak lanjut berupa optimalisasi rambu lalu lintas, seperti rambu dilarang parkir, guna mencegah kendaraan parkir di bahu dan badan jalan yang dapat menghambat kelancaran arus lalu lintas. Penelitian selanjutnya dapat berfokus pada kepuasan pengguna jalan dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti waktu tempuh, frekuensi pelayanan, interval, waktu tunggu, dan waktu pelayanan, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengalaman pengguna jalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Juga kami ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada para responden, narasumber, serta semua individu dan instansi yang telah memberikan dukungan, baik dalam bentuk data, wawasan, maupun masukan yang berharga. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dan pengambilan kebijakan yang lebih baik di masa depan.

REFERENSI

- Muhammad, A., Hamzah, B., & Rahim, J. (2018). Analisis pengaruh hambatan samping terhadap kinerja ruas Jalan Perintis Kemerdekaan. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 22(2), 96–104. <https://doi.org/10.25042/jpe.112018.01>
- Zultan, A. M., & Kamsiah, K. (2018). Studi kinerja ruas jalan arteri terhadap pengaruh hambatan samping pada ruas Jalan Yos Sudarso di Kota Tarakan. *Borneo Engineering Journal Teknik Sipil*, 2(1), 42. <https://doi.org/10.35334/be.v2i1.611>
- Dharma, B. S., & Novianti, N. (2018). *Pengaruh hambatan samping terhadap kapasitas jalan dan kecepatan arus lalu lintas (Studi kasus: Jalan A.M. Sangaji, Jogjakarta)* [Skripsi, Universitas Islam Indonesia].
- Citra, I., Rachman, R., & Palinggi, M. D. M. (2020). Analisis pengaruh hambatan samping terhadap kinerja ruas Jalan Veteran Selatan. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(2), 119–127. <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i2.128>
- Nduru, R., Alwinda, Y., & Sebayang, M. (2020). Analisis pengaruh hambatan samping terhadap kinerja ruas jalan perkotaan (Studi kasus: Simpang SKA sampai Simpang Tuanku Tambusai – Sudirman, Pekanbaru). *JOM FTEKNIK*, 7(1), 8. Retrieved from <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/26504/25623>
- Andar, S. (2018). *Studi pengaruh hambatan samping terhadap karakteristik lalu lintas pada ruas Jalan Sisingamangaraja* [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara]. Retrieved from <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/7751>
- Audina, S., Sudarno, S., & Yuwana, S. A. (2020). Analisis pengaruh hambatan samping dan pelican crossing terhadap kapasitas jalan (Studi kasus: Jalan Tidar, Kota Magelang). *Review of Civil Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.31002/rice.v4i1.2267>
- Kurniawan, S. (2018). Analisa hambatan samping terhadap tingkat pelayanan Jalan Raya Imam Bonjol Kota Metro. *Tapak*, 6(1), 13. Retrieved from <https://ojs.umm metro.ac.id/index.php/tapak/article/view/955>
- Marunsenge, G. S., Timboeleng, J. A., & Elisabeth, L. (2015). Pengaruh hambatan samping terhadap kinerja pada ruas Jalan Panjaitan (Kelenteng Ban Hing Kiong) dengan menggunakan metode MKJI 1997. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8). Retrieved from <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/9724>

Senduk, T. K., Rumayar, A. L., & Palenewen, S. C. N. (2018). Pengaruh hambatan samping terhadap kinerja ruas jalan raya Kota Tomohon (Studi kasus: Persimpangan Jl. Pesangrahan–Persimpangan Jl. Pasuwengan). *Jurnal Sipil Statik*, 6(7). Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/download/19881/1947>

Pengaruh penggunaan *filler* abu limbah cangkang kemiri terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (ac-wc)*

M Taufik Akbar Syaputra¹, Sazuatmo², Tri Sefrus³

¹²³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH

Corresponding Author:

Email:

Keywords:

AC-WC, abu limbah, cangkang kemiri, Marshall, stabilitas

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The use of environmentally friendly materials in road construction has received increasing attention, particularly in efforts to utilize waste as a value-added additive. One potential organic waste is candlenut shell ash, which contains specific chemical compounds that may affect the characteristics of asphalt mixtures. This study aims to investigate the effect of adding candlenut shell ash on the mechanical properties of Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) mixtures. The research method employed is a laboratory experiment with variations of candlenut shell ash content at 4%, 6%, 8%, and 10% of the total filler weight. Testing was conducted using the Marshall method to obtain values of stability, flow, Marshall Quotient (MQ), as well as VIM, VMA, and VFA. The Marshall test results indicate that the addition of candlenut shell ash influences the Marshall characteristics of AC-WC mixtures. At certain levels, the ash improves stability and flow values, demonstrating enhanced strength and stiffness of the mixture. However, at excessively high levels, the mixture performance declines. The optimal condition was achieved with 6% ash content, which yielded the highest stability and MQ values while meeting the 2018 Bina Marga specifications. Therefore, candlenut shell ash has the potential to be used as an additive in AC-WC mixtures, while also serving as an environmentally friendly waste management solution.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi darat, berfungsi sebagai sistem pendukung vital untuk berbagai aktivitas manusia. Ini mencakup semua segmen jalan, termasuk bagian tambahan yang secara khusus ditujukan untuk keperluan lalu lintas. Jalan raya terdiri dari empat lapisan yang berbeda, yakni lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, lapis pengikat, dan lapis aus. Peningkatan status ekonomi suatu negara sangat dipengaruhi oleh kualitas infrastruktur jalan. Saling ketergantungan antara manfaat jalan dan efisiensi fasilitasi transportasi, khususnya di sektor perdagangan dan sektor ekonomi terkait.

Beton aspal, yang umum digunakan di Indonesia, merupakan jenis campuran yang lazim. Beton aspal, komponen penting dalam konstruksi jalan, terdiri dari campuran aspal dan agregat yang tahan lama. Campuran ini mengalami proses agregasi terus menerus, diikuti dengan pencampuran menyeluruh, penghamparan, dan pemadatan pada suhu tertentu Bina Marga, (2018). Beton aspal umumnya digunakan untuk keperluan aplikasi permukaan, serta untuk fungsi meratakan dan mengikat.

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan secara keseluruhan, praktik penggantian bahan pengisi digunakan. Penelitian ini menggunakan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi, sebagai bahan alternatif. Cangkang kemiri merupakan hasil sampingan yang dihasilkan dari penghilangan lapisan luar buah kemiri yang sudah matang, khususnya diekstraksi dari biji bagian tengah buah kemiri. Menurut data Kementerian Pertanian Republik Indonesia, kemiri memiliki dua lapisan kulit yang berbeda, yaitu kulit buah dan kulit cangkang. Telah diamati bahwa untuk setiap kilogram biji kemiri, sekitar 30% merupakan kernel, sedangkan 70% sisanya merupakan cangkang. Biasanya, cangkang ini dibuang atau dibakar untuk mencegah penyebarannya di dalam rumah tangga, dan pengelolaannya belum dilakukan dengan keberhasilan yang optimal. Pemanfaatan abu cangkang kemiri pada penelitian ini dilatar belakangi oleh banyaknya limbah abu cangkang kemiri di Desa Talang Rami Kecamatan Seluma Utara Kabupaten Seluma yang masih belum termanfaatkan dan sebagian besar belum diketahui oleh

penduduk setempat. *Substitusi* bahan alternatif dalam campuran aspal untuk perkerasan jalan.

Lapis perkerasan campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC - WC) merupakan salah satu lapis perkerasan yang berfungsi sebagai lapis aus, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*Filler*) dan aspal. Material agregat sering yang digunakan sebagai bahan campuran adalah agregat yang berasal dari agregat alam atau agregat buatan (batu pecah/split) yang tidak dapat diperbarui. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi maka meningkat pula akan kebutuhan material untuk perkerasan jalan. Berdasarkan uraian tersebut maka perlu dilakukan penelitian, guna untuk mencari alternatif pengganti agregat dengan beragam komponen limbah.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Bengkulu, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler terhadap campuran aspal Laston Lapis Aus (AC-WC). Pengujian utama yang dilakukan adalah uji Marshall untuk beban lalu lintas tinggi, meliputi kondisi sampel kering dan rendaman guna memperoleh kadar aspal optimum (Pb.opt), serta karakteristik Marshall seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VFB, dan VMA.

Metode penelitian ini mencakup tahapan sistematis mulai dari persiapan bahan, pembuatan benda uji, perawatan, hingga pengujian. Berbagai pengujian aspal dilakukan, antara lain uji penetrasi untuk menentukan kekerasan aspal, uji titik lembek untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap aspal, serta uji titik nyala dan titik bakar guna menentukan suhu maksimum pemanasan aspal yang aman. Pengujian sifat agregat dilakukan melalui analisis saringan, pengujian berat jenis, dan penyerapan air yang berpengaruh terhadap desain campuran aspal. Metode pengumpulan data terdiri dari data primer (hasil pengujian di laboratorium) dan data sekunder (literatur terkait). Analisis data dilakukan secara kuantitatif untuk mengetahui hubungan antara penggunaan abu limbah cangkang kemiri sebagai filler dengan karakteristik campuran aspal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil harus jelas dan ringkas. Hasil harus merangkum temuan (ilmiah) dari analisis data rinci. Silakan menyoroti perbedaan antara hasil atau temuan dengan publikasi sebelumnya oleh peneliti lain. Untuk tabel, mereka berurutan nomor dengan judul tabel dan nomor di atas tabel. Tabel harus berpusat di tengah Halaman. 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.

a) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan nilai berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,73, berat jenis SSD sebesar 2,80, dan berat jenis semu sebesar 2,94. Sementara itu, nilai penyerapan rata-rata agregat kasar adalah 2,39%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 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	299,5	289,5		gram
Berat Piknometer + Air	B	653,00	650,30		gram
Berat benda uji kondisi SSD	Bs	304,00	299,00		gram
Berat piknometer + Benda uji kondisi SSD + air	Bt	838,50	850,8		gram
Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	2,53	2,94	2,73	
BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,57	3,04	2,80	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2,63	3,25	2,94	
Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,50	3,28		2,39%

b) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat medium memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 3,38, berat jenis SSD sebesar 3,45, dan berat jenis semu sebesar 3,65. Nilai penyerapan rata-rata tercatat sebesar 2,12%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat medium disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Berat benda uji kering oven	Bk	241,00	240,70		gram
2	Berat Piknometer + air	B	659,00	650,30		gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	244,00	247,90		gram
4	Berat piknometer + benda uji kondisi SSD + air	Bt	829,90	828,60		gram
5	Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	3,30	3,46	3,38	
6	BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	3,34	3,56	3,45	
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	3,44	3,86	3,65	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,24	2,99	2,12	

c) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian, agregat halus memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,50, berat jenis SSD sebesar 2,56, dan berat jenis semu sebesar 2,64. Nilai penyerapan rata-rata diperoleh sebesar 2,09%. Adapun hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Berat benda uji kering oven	Bk	201,8	200,7		gram
2	Berat Piknometer + air	B	651,4	650,3		gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	205,50	205,4		gram
4	Berat piknometer + benda uji kondisi SSD + air	Bt	780,50	770,9		gram
5	Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	2,64	2,37	2,50	
6	BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2,69	2,42	2,56	
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2,78	2,51	2,64	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		1,83	2,34	2,09%	

d) Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*

Hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 3899}{5000} \times 100\% \\
 &= 22,02\%
 \end{aligned}$$

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**.

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

Benda Uji		500 Putaran	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
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 ")	-	-

Benda Uji		500 Putaran	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
6,3 mm (¼ ")	4,75 mm (no.4)	-	-
Jumlah Berat		5000	-
Berat Tertahan Saringan No. 12			3899
Nilai Keausan (Syarat $\leq 40\%$)			22,02%

e) Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis 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 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7**.

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

No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	86,70	8,67	8,67	91,33
3/8"	335,90	33,59	42,26	57,74
4	276,50	27,65	69,91	30,09
8	130,60	13,06	82,97	17,03
16	74,60	7,46	90,43	9,57
30	33,10	3,31	93,74	6,26
50	26,80	2,68	96,42	3,58
100	16,10	1,61	98,03	1,97
200	11,40	1,14	99,17	0,83
Pan	8,30	0,83	100,00	0,00
Total	1000,00	100,00		

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

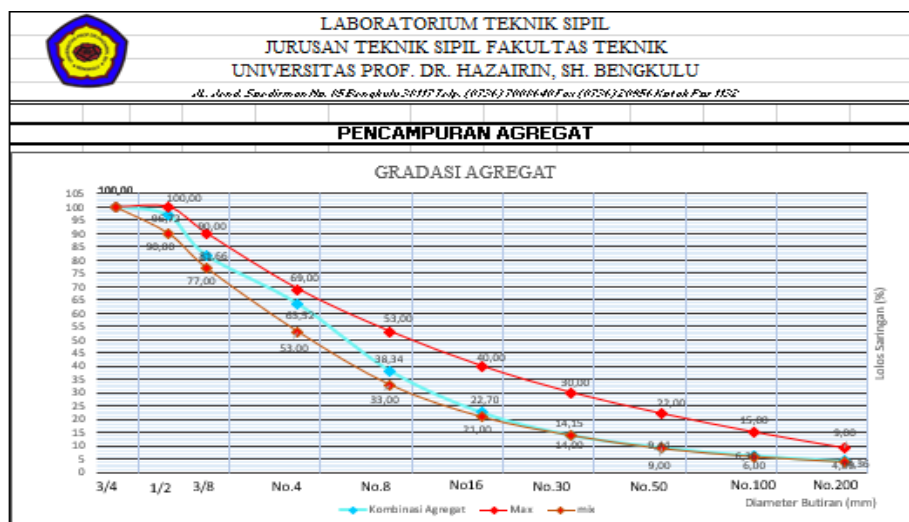
No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0	0	0	100
1/2"	23.5	2.35	2.35	97.65
3/8"	75.1	7.51	9.86	90.14
4	174.7	17.47	27.33	72.67
8	359.2	35.92	63.25	36.75
16	185.4	18.54	81.79	18.21
30	109.6	10.96	92.75	7.25
50	42.6	4.26	97.01	2.99
100	17.4	1.74	98.75	1.25
200	9	0.9	99.65	0.35
pan	3.5	0.35	100	0
Total	1000	100		

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

No. Saringan	Berat tertahan (gr)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Kumulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	73.7	7.37	7.37	92.63
4	125.9	12.59	19.96	80.04
8	285.4	28.54	48.5	51.5
16	211	21.1	69.6	30.4
30	115.3	11.53	81.13	18.87
50	70.4	7.04	88.17	11.83
100	55	5.5	93.67	6.33
200	36.8	3.68	97.35	2.65
Pan	26.5	2.65	100	0
Total	1000	100		

Adapun setelah dilakukan analisis saringan pada masing-masing agregat maka akan ditentukan kombinasi campuran agregat yang ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PROF. DR. HAZAIRIN, SH. BENGKULU <i>Jl. Jend. Sudirman No. 85 Bengkulu 36111 Telp. (0736) 7008640 Fax (0736) 20856 Kotak Pos 1152</i>										
PENCAMPURAN AGREGAT										
URAIAN	UKURAN									
Inch	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
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	91,33	57,74	30,09	17,03	9,57	6,26	3,58	1,97	0,83
Agregat 0,5-1,0	100,00	97,65	90,14	72,67	36,75	18,21	7,25	2,99	1,25	0,35
Abu Batu 0-0,5	100,00	100,00	92,63	80,04	51,50	30,40	18,87	11,83	6,33	2,65
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	30%	30,00	27,40	17,32	9,03	5,11	2,87	1,88	1,07	0,59
Agregat 0,5-1,0	29%	29,00	28,32	26,14	21,07	10,66	5,28	2,10	0,87	0,36
Abu Batu 0-0,5	38%	38,00	38,00	35,20	30,42	19,37	11,55	7,17	4,50	2,41
Filler Cement	3%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Total Campuran	100%	100,00	96,72	81,66	63,52	38,34	22,70	14,15	9,44	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	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI	MEHENUHI
Mix	100,00	90,00	77,00	53,00	33,00	21,00	14,00	9,00	6,00	4,00

Gambar 1. Hasil Kombinasi Agregat Standar**Gambar 2. Hasil Kombinasi Agregat Standar**

f) Pengujian Aspal

Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Hasil Perhitungan :

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

$$\text{Benda Uji II} = \frac{64 + 69 + 62 + 65 + 63}{5} = 64,6$$

$$\text{Penetrasi rata-rata} = \frac{66,6 + 64,6}{2} = 65,6$$

Pengujian penetrasi aspal menggunakan nilai minimum 60 dan nilai maximum 70, data hasil pengujian penetrasi aspal 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Penetrasi Aspal 60/70

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

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

g) Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Hasil perhitungan berat jenis :

Sampel uji 1

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

$$= \frac{50,70}{40,70}$$

$$= 1,25 \text{ gr/cc}$$

Sampel uji 2

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

$$= \frac{60,90}{52,40}$$

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

Berat jenis rata-rata

$$= \frac{1,25 + 1,16}{2}$$

$$= 1,20$$

Hasil pemeriksaaan berat jenis aspal dapat dilihat pada **Tabel 9.****Tabel 9.** Hasil Pemeriksaan Berat Jenis

Pengujian	Benda Uji I (Gr)	Benda Uji II (Gr)	Rata-Rata
Berat Piknometer + air (B)	360,20	365,00	362,60
Berat Piknometer (A)	169,00	170,70	166,50
Berat air (isi Piknometer) (C=B-A)	191,20	194,30	192,75
Berat Piknometer + contoh (D)	221,50	230,60	226,05
Berat Piknometer (A)	170,80	169,70	166,50
Berat contoh (E = D - A)	50,70	60,90	55,80
Berat Piknometer + air + contoh (F)	372,00	372,50	372,25
Berat Piknometer + contoh (D)	221,50	230,60	226,05
Berat air (G = F - D)	150,50	141,90	146,20
Isi Bitumen (I = C - G)	40,70	52,40	46,55
Berat jenis bitumen (H = E / I)	1,25	1,16	1,20

h) Pengujian Titik Lembek AspalHasil pengujian titik lembek aspal dapat dilihat pada **Tabel 10.****Tabel 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	"06'23"70"	"05'15"70"			
3	40	"11'30"22"	"10'15"22"			
4	45	"16'36"15"	"15'36"15"			
5	50	"19'08"80"	"18'08"80"			
6	55	"20'28"60"	"19'28"60"	54		55,5 °C
7	60	"21'52"12"	"20'52"12"		57	

Dari perhitungan diatas nilai rata-rata titik lembek aspal adalah 55,5 °C.

i) 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 11**.

Tabel 11. Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal

°C di bawah titik nyala	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Titik nyala	l
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		

j) Pengujian Marshal

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

k) 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 dan disajikan pada **Tabel 12**.

- $4,5\% \times 1000 = 45$ gram
- $5,0\% \times 1000 = 50$ gram
- $5,5\% \times 1000 = 55$ gram
- $6,0\% \times 1000 = 60$ gram
- $6,5\% \times 1000 = 65$ gram

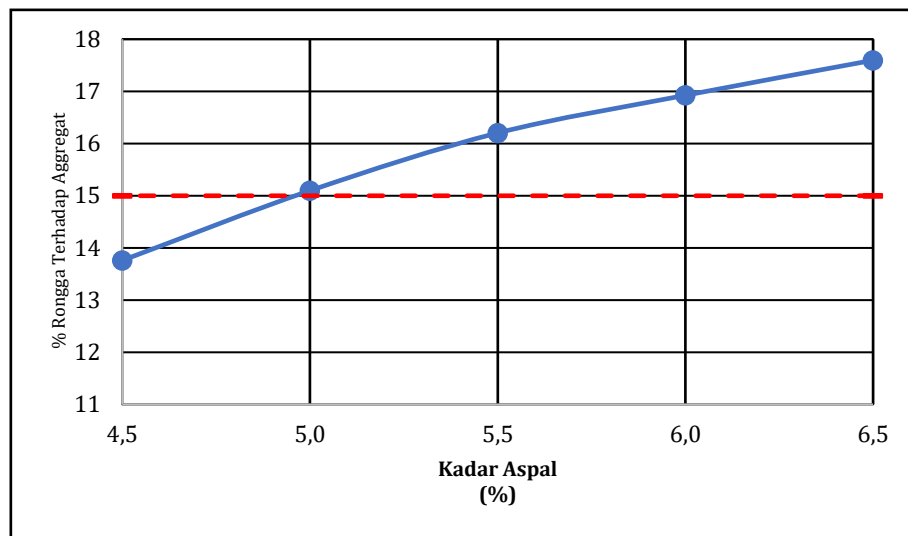
Tabel 12. Hasil pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
1.	VMA (%)	≥ 15	13,76	15,10	16,20	16,93	17,60
2.	VFA (%)	≥ 65	71,6	71,8	72,6	76,0	78,1
3.	VIM (%)	3--5	3,9	4,3	4,5	4,3	4,0
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1661,1	1733,8	2218,5	1693,6	1962,5
5.	Flow (mm)	2--4	2,2	2,9	3,9	3,3	4,1
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	908,1	730,3	683,6	683,8	581,4

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.

1) 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 3**.

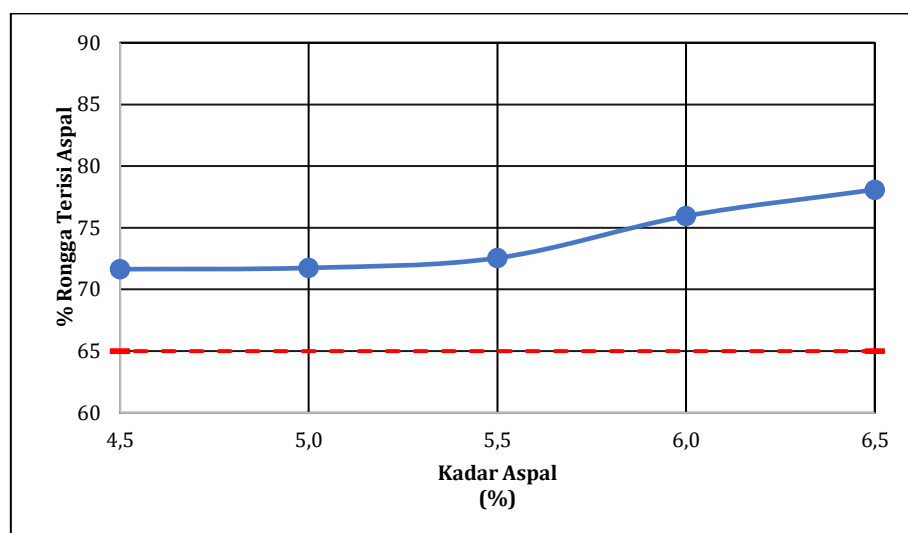


Gambar 3. Hubungan VMA Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 3** diperoleh nilai VMA yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 15 yaitu dengan nilai kadar Aspal 5,0% (15,10), 5,5% (16,32), 6,0% (16,93) dan 6,5% (17,40).

2) 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**.

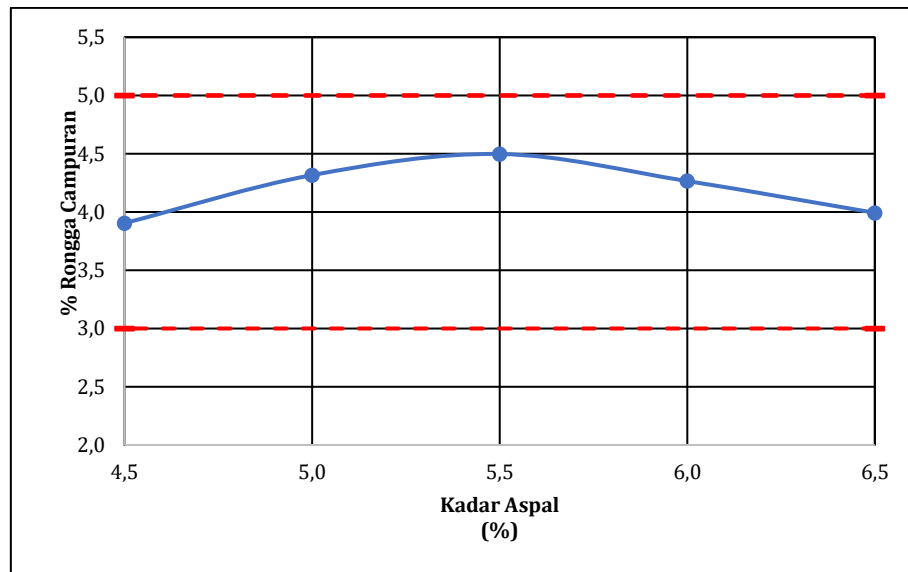


Gambar 4. Hubungan VFA Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 4** diperoleh nilai VFA dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 .

3) 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 5**.

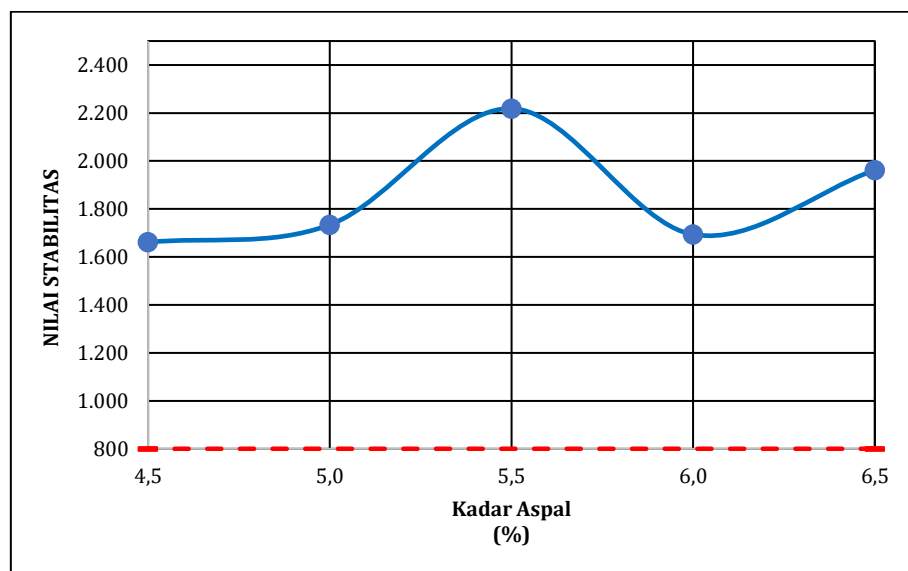


Gambar 5. Hubungan VIM Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh nilai VIM dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 3-5.

4) 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 6**.



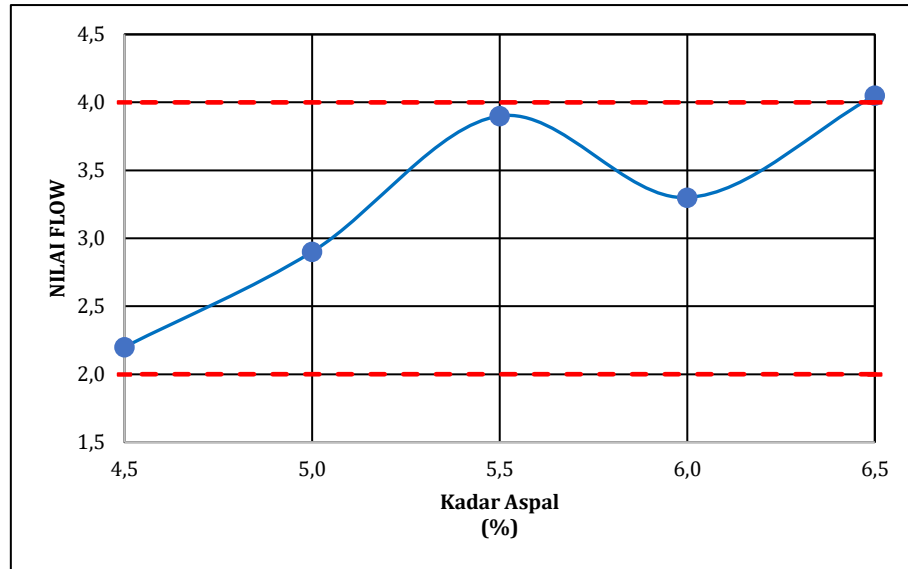
Gambar 6. Hubungan Stabilitas Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada Stabilitas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 .

5) Flow (Kelelahan)

Flow merupakan penurunan vertical campuran akibat beban yang bekerja pada Perkerasan. Semakin tinggi nilai *flow* maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan disebabkan kadar aspal.

Semakin rendah *flow* maka akan semakin kaku. Berikut nilai *Flow* hasil pengujian dilihat pada **Gambar 7**.

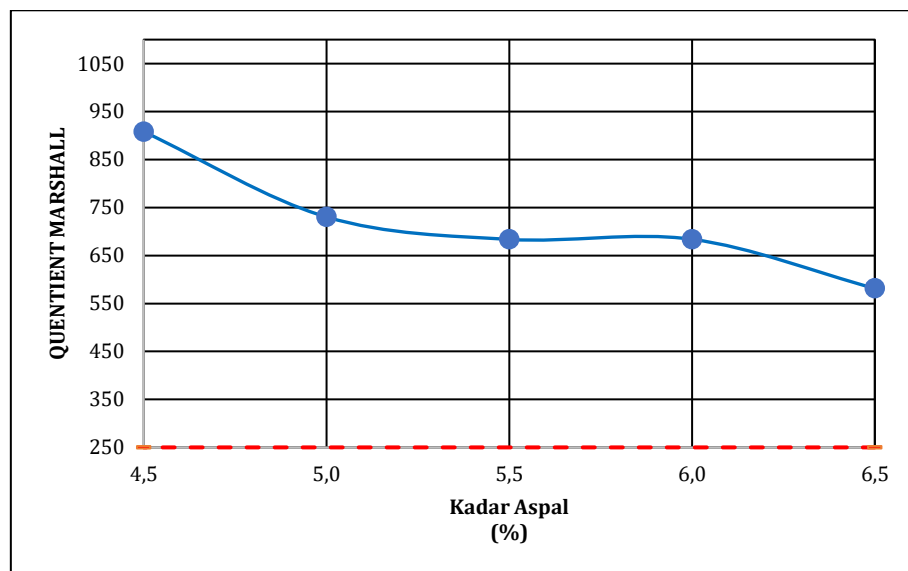


Gambar 7. Hubungan Flow Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 7** diperoleh nilai *Flow* yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 – 4 mm yaitu dengan nilai kadar aspal 4,5% (2,2 mm), 5,0% (2,9 mm), 5,5 (3,9 mm) dan 6,0% (3,3 mm).

6) 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 8**.



Gambar 8. Hubungan QM Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan **Gambar 8** diperoleh nilai MQ dari semua kadar aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 .

7) Kadar Penambahan Optimum (KPO)

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

- $4,0\% \times 30 = 1,2 \text{ gram}$
- $6,0\% \times 30 = 1,8 \text{ gram}$

c. $8,0\% \times 30 = 2,4 \text{ gram}$

d. $10,0\% \times 30 = 3 \text{ gram}$

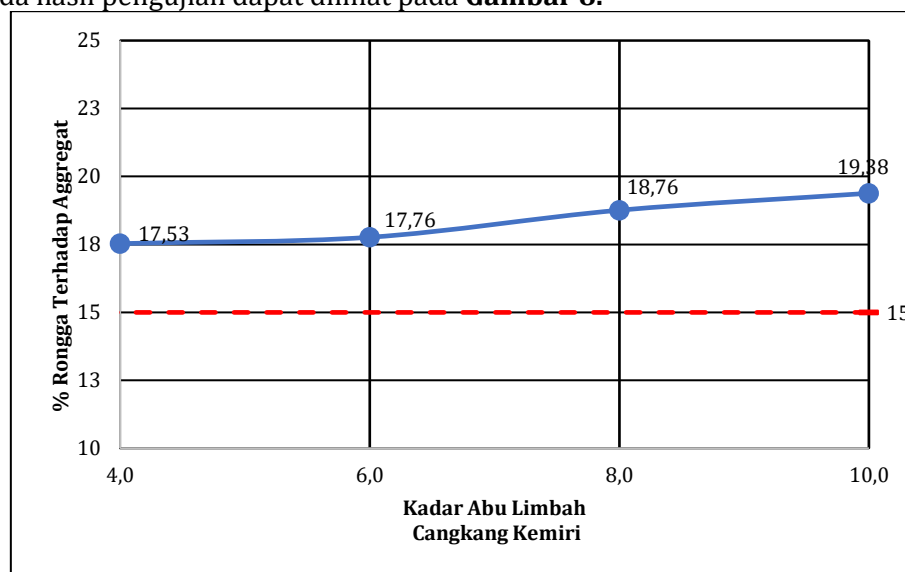
Tabel 13. Hasil pengujian Marshall Kadar Pencampuran Optimum (KPO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Abu Cangkang Kemiri (%)			
			4	6	8	10
1.	VMA (%)	≥ 15	17,53	17,76	18,76	19,38
2.	VFA (%)	≥ 65	77,4	74,6	69,3	67,9
3.	VIM (%)	3--5	4,4	4,6	5,8	6,5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1646,3	2235,5	1836	1940,2
5.	Flow (mm)	2--4	2,7	3,5	4,1	4,3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	737,6	800,6	538,0	550,6

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* standar dengan penambahan abu limbah cangkang kemiri, 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* (Kelelahan), dan *Marshall Quotien* (MQ), yang akan dibahas sebagai berikut.

8) 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 8**.

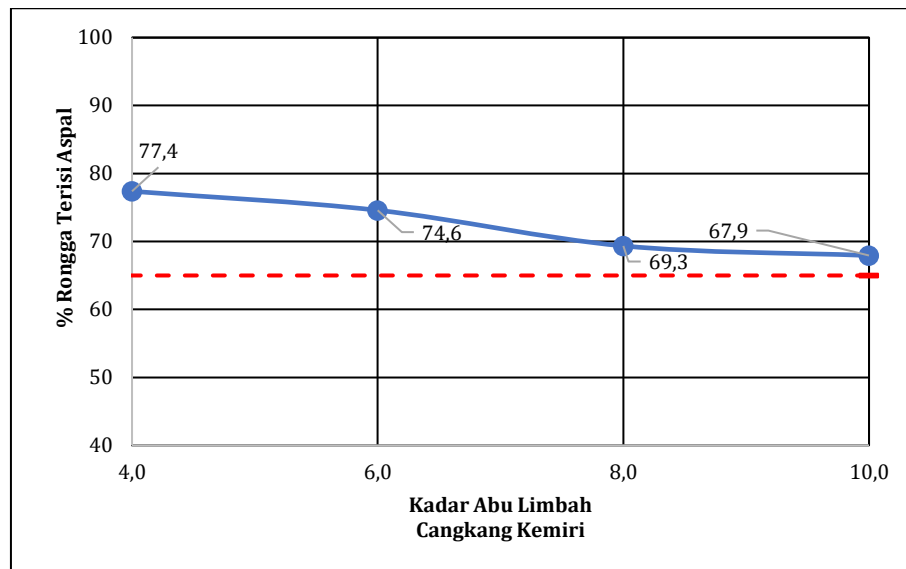


Gambar 9. Hubungan VMA Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 8 diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada VMA memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 15 .

9) 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 dilhapada **Gambar 10**.

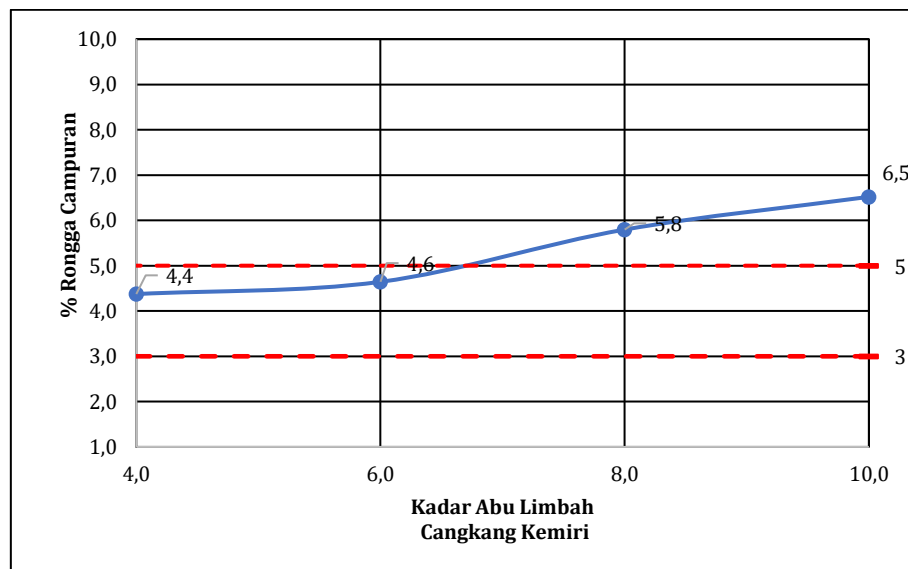


Gambar 10. Hubungan VFA Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 10 diperoleh seluruh nilai kadar aspal pada VFA memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar ≥ 65 .

10) 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 11**.

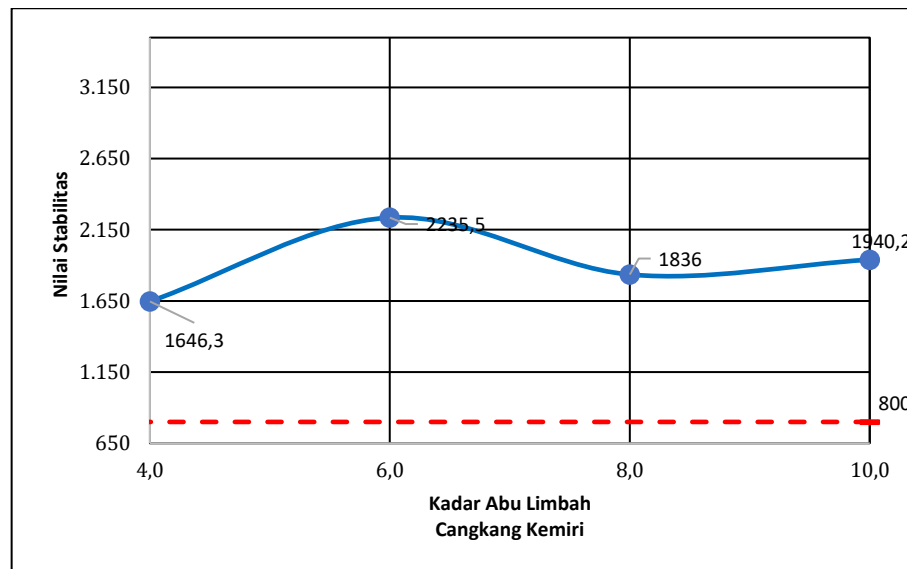


Gambar 11. Hubungan VIM Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan **Gambar 11** diperoleh nilai VIM yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 3% - 5% yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0% (4,4) dan 6,0% (4,6).

11) 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 12**.

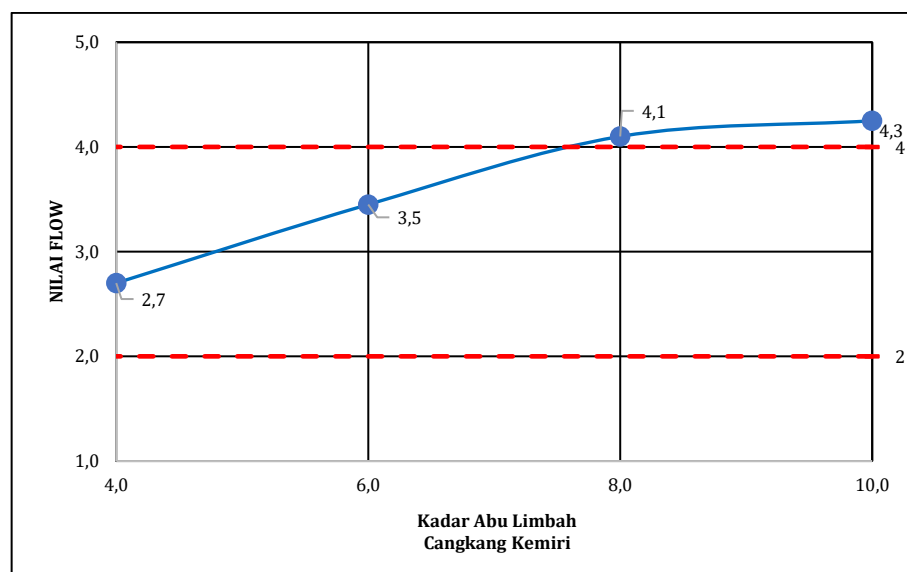


Gambar 12. Hubungan Stabilitas Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 12 diperoleh nilai Stabilitas yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 800 yaitu dengan nilai kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0% (1646,3), 6,0% (2235,5), 8,0% (1836), 10% (1940,2).

12) Flow (Kelelehan).

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 13**.

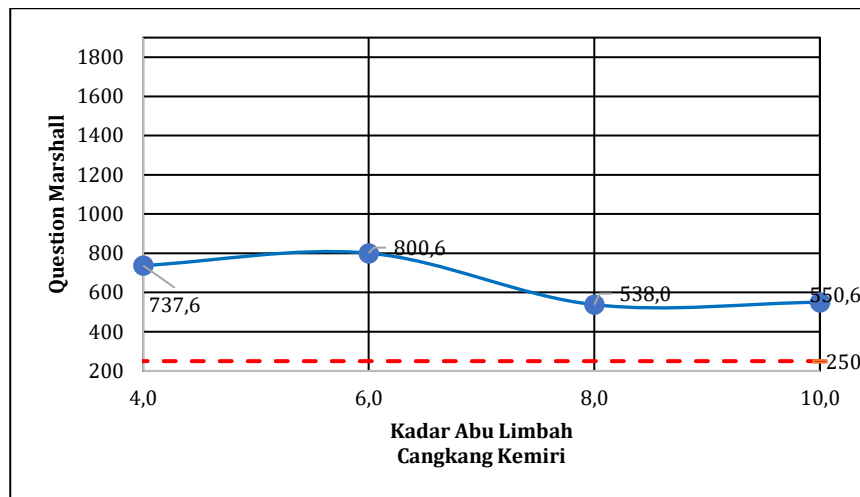


Gambar 13. Hubungan Flow Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar 13 diperoleh nilai *Flow* yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 2 mm – 4 mm yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4% (2,7mm) dan 6% (3,5mm)

13) 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 14**.



Gambar 14. Hubungan MQ Terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri

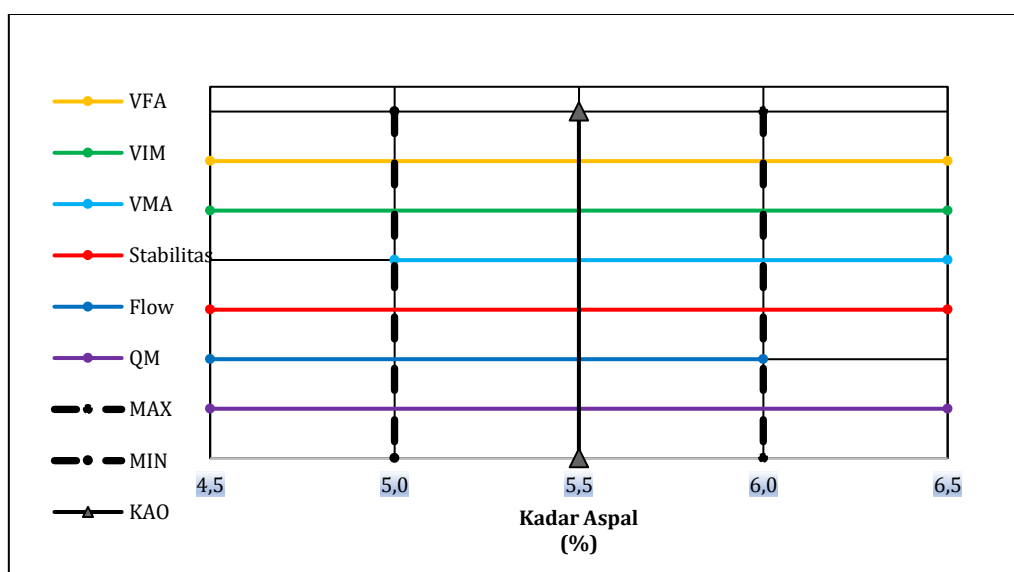
Berdasarkan gambar 14 diperoleh nilai MQ yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥ 250 yaitu dengan nilai Kadar Abu Limbah Cangkang Kemiri 4% (737,6), 6% (800,6), 8% (538,0) dan 10% (550,6).

14) Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berikut hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO yang dapat dilihat pada **Tabel 14** dan **Gambar 15**.

Tabel 14. Hasil pengujian *Marshall* Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5	5,5	6	6,5
1.	VMA (%)	≥ 15	13,76	15,10	16,20	16,93	17,60
2.	VFA (%)	≥ 65	71,6	71,8	72,6	76,0	78,1
3.	VIM (%)	3--5	3,9	4,3	4,5	4,3	4,0
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1661,1	1733,8	2218,5	1693,6	1962,5
5.	Flow (mm)	2--4	2,2	2,9	3,9	3,3	4,1
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	908,1	730,3	683,6	683,8	581,4

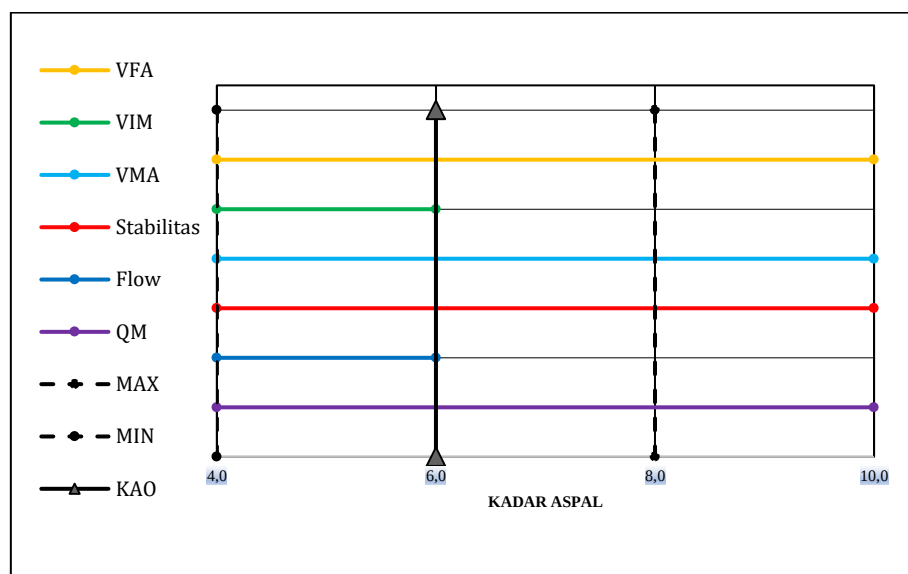


Gambar 15. Grafik Kadar Aspal Optimum

15) Kadar Pencampuran Optimum (KPO)

Berikut hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO pencampuran yang dapat dilihat pada Tabel 15 dan Gambar 16.

Tabel 15 Hasil pengujian Marshall Kadar Pencampuran Optimum (KPO)						
No	Karakteristik	Syarat	Kadar Abu Cangkang Kemiri (%)			
			4	6	8	10
1.	VMA (%)	≥ 15	17,53	17,76	18,76	19,38
2.	VFA (%)	≥ 65	77,4	74,6	69,3	67,9
3.	VIM (%)	3--5	4,4	4,6	5,8	6,5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1646,3	2235,5	1836	1940,2
5.	Flow (mm)	2--4	2,7	3,5	4,1	4,3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	737,6	800,6	538,0	550,6



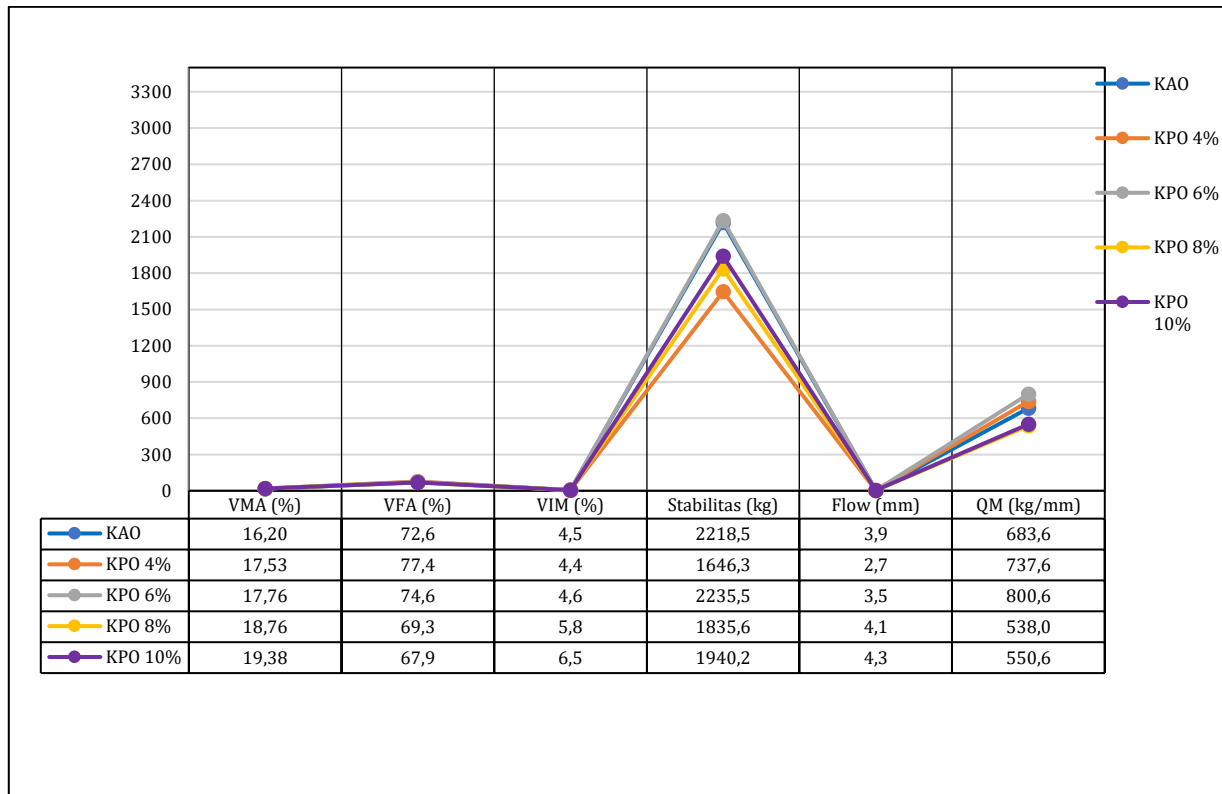
Gambar 16. Grafik Kadar Penambah Optimum

Dari hasil pembahasan Karakteristik Marshall diatas dapat dilihat bahwa setelah melakukan pengujian *Marshall* pada seluruh parameter *Marshall* yang memenuhi persyaratan KPO terdapat dua Kadar Pencampuran Abu Limbah Cangkang Kemiri yaitu 4,0% dan 6,0%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa Kadar Pencampuran Optimum 4,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 1646,3 kg, Flow 2,7 mm, dan Marshall Quotient 737,6 kg sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 6,0% memiliki nilai VMA 17,76%, VFA 74,6%, VIM 4,6%, Stabilitas 2235,5kg, Flow 3,5 mm, dan Marshall Quotient 800,6 kg yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 8,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 3129,2 kg, Flow 2,1 mm, dan Marshall Quotient 1214,9 kg sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 10% memiliki nilai VMA 19,38%, VFA 67,9%, VIM 6,5%, Stabilitas 1940,2 kg, Flow 4,3 mm, dan Marshall Quotient 550,6 kg tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 .

16) Perbandingan Kadar Aspal Optimum dengan Kadar Pencampuran Optimum

Berikut pembahasan Perbandingan Kadar Aspal Optimum 5,5% yang digunakan dengan Kadar Pencampuran Optimum Abu Limbah Cangkang Kemiri dapat dilihat pada gambar 17 . Berdasarkan gambar 17 diperoleh hasil perbandingan antara KAO 5,5% dengan KPO 4% - 10% terhadap Abu Limbah Cangkang Kemiri mengalami pengaruh signifikan pada parameter *Marshall*, dari hasil penelitian yang tampak pada grafik bahwa semakin banyak persen Abu Limbah Cangkang Kemiri 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.



Gambar 17. Grafik Perbandingan KAO dan KPO

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian *marshall*, Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 5,5% pada campuran AC-WC Asphalt Concrete-Wearing Course dengan *Substitusi filler* Abu Limbah Cangkang Kemiri 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%, sehingga didapatkan Kadar Pencampuran Optimum (KPO) Abu Limbah Cangkang Kemiri sebesar 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10%. Maka dapat disimpulkan bahwa Kadar Pencampuran Optimum 4,0% memiliki nilai VMA 17,53%, VFA 77,4%, VIM 4,4%, Stabilitas 1646,3 kg, Flow 2,7 mm, dan *Marshall Quotient* 737,6 kg, sedangkan Kadar Pencampuran Optimum 6,0% memiliki nilai VMA 17,76%, VFA 74,6%, VIM 4,6%, Stabilitas 2235,5kg, Flow 3,5 mm, dan *Marshall Quotient* 800,6 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 8,0% VMA 18,76%, VFA 69,3%, VIM 5,8%, Stabilitas 1836 kg, Flow 4,1 mm, dan *Marshall Quotient* 538,0 kg. Sedangkan pada Kadar Pencampuran Optimum 10% VMA 19,38%, VFA 67,9%, VIM 6,5%, Stabilitas 1940,2 kg, Flow 4,3 mm, dan *Marshall Quotient* 550,6 kg. Pada hasil pencampuran Abu Limbah Cangkang Kemiri dengan persentase 4,%, 6,%, 8,%, 10%, maka di dapatkan Kesimpulan Dimana pada campuran 4% dan 6% memenuhi persyaratan dari standar spesifikasi SNI Bina Marga 2018 revisi 2, sedangkan pada campuran 8% dan 10% titik Flow dan VIM melebihi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, maka di dapatkanlah nilai persentase optimum Abu Limbah Cangkang Kemiri pada campuran aspal AC-WC.

REFERENSI

- Agustian, K., & Agusmaniza, R. (2021). Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- Aly, S. H., & Takdir, T. (2011). Penggunaan pasir besi sebagai agregat halus pada beton aspal lapisan aus. *Jurnal Transportasi*, 11(2), 123–134.
- Anonim. (2020). *Petunjuk Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*.
- Bina Marga, Di. (2010). *Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal*.

- Kognisi, P. K., Risiko, P., Jenis, D. A. N., Bidori, F., Puspitowati, L. I. dan I., Wijaya, I. G. B., Alifah, U., Artikel, I., Paedagoria, S. N., Anwar, I., Jamal, M. T., Saleem, I., Thoudam, P., Hassan, A., Anwar, I., Saleem, I., Islam, K. M. B., Hussain, S. A., Witcher, B. J., ... alma. (2021). Title. *Industry and Higher Education*, 3(1), 1689-1699. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspac.e.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Rahman, S., Paneo, S. O., Massara, A., & Alifuddin, A. (2024). *Analisis Pengaruh Pemanfaatan Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Terhadap Pengujian Marshall dan Indirect Tensile Strength Pada Campuran (AC- WC).* 2(2), 88-94.
- Refiyanni, Meidia; Ikhsan, M. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti. *Konteks* 13, II(October), 256-262.
- Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar...*, 6(1), 10-20.
- Saudi, A. I., Suryani, H., & Okviyani, N. (2024). *Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis AC - WC.* 6(1), 16-23.
- Situmorang, S. (2021). *Perencanaan Tebal Perkerasan Terhadap Kerusakan Ruas Jalan (Studi Kasus: Jalan Wiliam Iskandar Pasar V Medan).* [https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/15631%0Ahttps://repositori.uma.ac.id/jspui/bitstream/123456789/15631/1/168110054-Sebastian Situmorang - Fulltext.pdf](https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/15631%0Ahttps://repositori.uma.ac.id/jspui/bitstream/123456789/15631/1/168110054-Sebastian%20Situmorang%20-%20Fulltext.pdf)
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Buku.
- Sukirman, S. (2007). *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Nova.

Analisis perencanaan biaya proyek pembangunan gedung Undiksha berbasis *Building Information Modeling* (BIM)

I Kadek Rio Parsana Arta ^{a*}, I Gusti Agung Gede Nodya Dharmastika ^b, I Gusti Agung Putu Eryani ^c

^{abc} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa

Corresponding Author:

Email:

agungnodya@warmadewa.ac.id

Keywords:

Building information modelling, cost planning, project analysis, project budgeting, undiksha building construction

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *One of the innovations that has received attention is Building Information Modeling (BIM). The software that applies the BIM concept is Autodesk Revit. This study compares the Cost Budget Plan (RAB) obtained through the BIM method, and the RAB calculated by conventional methods in the Denpasar Undiksha Campus Lecture Building Construction Project, to identify a more efficient method used in project cost estimation. The method used in this study is to collect project data in the form of structural work drawings, unit price analysis, and RAB, which is used as a reference for modeling with Autodesk Revit. The RAB calculated using the BIM method modeled on Autodesk Revit was obtained lower at IDR 3,003,134,274.71. while RAB was obtained from contract documents of IDR 3,425,386,712.44. The comparison between Autodesk Revit's RAB and the contract document RAB shows a difference of IDR 422,252,437.73 with an efficiency value of 12.33%. The Cost Budget Plan (RAB) generated through modeling using Autodesk Revit shows lower and more efficient values. This shows that the application of BIM methods in project cost planning can provide more accurate and optimal results*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi dalam sektor konstruksi telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, termasuk di Indonesia. Perkembangan ini terlihat dari meningkatnya jumlah proyek pembangunan di berbagai wilayah. Salah satu inovasi penting yang kini mendapatkan perhatian adalah Building Information Modeling (BIM). BIM merupakan teknologi dalam bidang AEC (Architecture, Engineering dan Construction) yang dapat menyajikan seluruh informasi proyek dalam bentuk model tiga dimensi (Muhamad Alimin et al., 2023). Salah satu aplikasi yang menerapkan konsep BIM adalah Autodesk Revit. Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk merancang bangunan secara menyeluruh mencakup aspek arsitektural, struktural, serta MEP dalam bentuk tiga dimensi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2018 Mengenai Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung Negara, dinyatakan bahwa Penerapan *Building Information Modelling* (BIM) diwajibkan untuk Bangunan Gedung Negara tidak sederhana dengan kriteria luas diatas 2000 m² (dua ribu meter persegi) dan diatas 2 (dua) lantai. Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha merupakan Proyek Gedung yang memiliki luas bangunan sebesar 381.29 m² dan memiliki 4 lantai yang dalam proses perhitungan volume pekerjaan dilakukan dengan metode konvensional, metode konvensional memerlukan waktu yang cukup lama karena harus menghitung dengan cara manual, yaitu matematika geometri untuk mendapatkan volume pekerjaan (Suasira et al., 2021).

Pada penelitian ini penulis berfokus pada pekerjaan struktur, karena struktur merupakan komponen utama yang menentukan kekuatan, stabilitas dan keamanan bangunan. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha sebesar Rp 10.941.183.226,21 dimana sebesar 31.31% dari total anggaran atau senilai Rp 3.425.386.712,44 digunakan untuk pekerjaan struktur. Oleh karena itu, perhitungan pekerjaan struktur perlu dianalisis secara rinci untuk memastikan akurasi dan efisiensi pelaksanaannya.

Building Information Modeling (BIM)

BIM merupakan pendekatan kerja yang memanfaatkan model digital tiga dimensi yang memuat seluruh informasi proyek secara terintegrasi. Pendekatan ini memungkinkan koordinasi, simulasi, dan visualisasi yang lebih efektif di antara seluruh pihak yang terlibat dalam proyek, sehingga mendukung proses perencanaan, pelaksanaan, hingga pengelolaan bangunan oleh pemilik proyek maupun penyedia jasa (Sangadji et al., 2019).

Teknologi BIM ini memungkinkan setiap tahapan dalam proses pembangunan mulai dari perencanaan, perancangan, pelaksanaan konstruksi, hingga operasional dilakukan dengan lebih cepat, tepat, efektif, dan efisien sesuai dengan kebutuhan proyek. Selain itu pemilihan material bangunan serta penggunaan peralatan menjadi lebih optimal. Hal ini membantu meminimalkan potensi kesalahan teknis selama pelaksanaan. Teknologi BIM termasuk salah satu teknologi di bidang AEC (*Architecture, Engineering dan Construction*) yang mampu mensimulasikan seluruh informasi proyek pembangunan ke dalam bentuk model tiga dimensi (Rahaditya & Bhaskara, 2020).

Autodesk Revit

Salah satu perangkat lunak berbasis BIM yang dipilih untuk memperoleh hasil kerja yang lebih efisien dan optimal adalah Autodesk Revit. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan bangunan dalam bentuk tiga dimensi serta menghasilkan keluaran berupa volume pekerjaan, sehingga sangat sesuai untuk diterapkan dalam proses perhitungan *Quantity Take Off* (Ahmad & Budi, 2022). Keunggulan yang terdapat pada *Autodesk Revit* selain menyediakan beragam *family* dan elemen untuk mendukung proses pemodelan, adalah kemampuannya dalam melakukan material *take-off* hingga pada tingkat tiap lapisan. Hal ini memungkinkan perhitungan *quantity take off* dilakukan secara detail, bahkan untuk material yang terdiri dari beberapa lapisan. (Puluhulawa, 2023).

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah estimasi total biaya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan suatu proyek, mencakup pengeluaran untuk bahan bangunan, peralatan, tenaga kerja, serta komponen biaya lainnya yang terkait dengan kegiatan proyek. RAB berfungsi sebagai acuan pelaksanaan proyek agar berjalan sesuai dengan rancangan dan kesepakatan awal kontrak. Tanpa adanya RAB, berisiko terjadi pembengkakan biaya akibat pembelian bahan bangunan yang tidak sesuai dengan volume pekerjaan, pembayaran upah yang tidak terkontrol, pengadaan peralatan yang tidak tepat sasaran, serta berbagai dampak negatif lainnya (Pamungkas, 2022). Tahapan penyusunan RAB terdapat pada uraian berikut.

- 1) Mempersiapkan gambar kerja detail
 Dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada proyek konstruksi, gambar kerja digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis pekerjaan, spesifikasi material, dan dimensi bangunan yang dibutuhkan. Penyusunan Detail Engineering Design (DED) secara lengkap akan mempermudah dan meningkatkan ketepatan dalam perhitungan volume pekerjaan.
- 2) Menghitung volume pekerjaan
 Pengukuran volume pekerjaan merupakan proses penting dalam tahapan perencanaan proyek konstruksi, yang melibatkan kegiatan pengukuran atau perhitungan terhadap jumlah kuantitas dari setiap item pekerjaan berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Dengan mengetahui volume masing-masing pekerjaan secara akurat, pihak perencana maupun pelaksana proyek dapat menentukan estimasi kebutuhan sumber daya, termasuk material, tenaga kerja, dan peralatan. Selain itu, informasi mengenai volume ini juga menjadi dasar utama dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), sehingga dapat diketahui secara lebih pasti berapa besar biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan seluruh pekerjaan dalam proyek tersebut.
- 3) Menghitung harga satuan pekerjaan
 Harga Satuan Pekerjaan merupakan akumulasi biaya yang mencakup harga material, penggunaan alat, serta upah pekerja, yang diperoleh melalui analisis perhitungan secara terperinci. Nilai harga satuan ini bisa bervariasi antar daerah karena perbedaan harga pasar material konstruksi dan tarif tenaga kerja di masing-masing wilayah. Oleh karena itu, dalam penyusunan RAB sebuah proyek, sangat penting untuk mengacu pada harga satuan bahan dan upah yang berlaku di lokasi proyek serta kondisi pasar setempat.

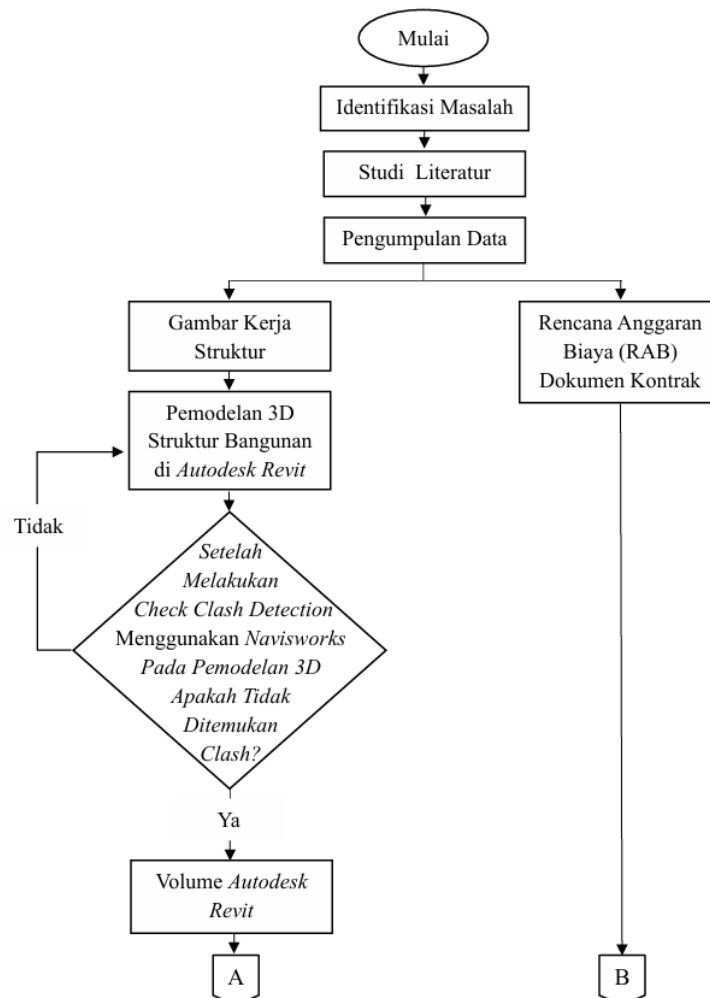
- 4) Menghitung jumlah biaya pekerjaan
Setelah perhitungan volume dan harga satuan tiap pekerjaan diselesaikan, tahap berikutnya adalah mengalikan kedua nilai tersebut untuk memperoleh total biaya dari setiap jenis pekerjaan yang ada.
- 5) Membuat rekapitulasi total biaya setiap sub pekerjaan
Tahap akhir dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah menjumlahkan keseluruhan biaya dari masing-masing kelompok pekerjaan, seperti pekerjaan persiapan, struktur, arsitektur, dan MEP. Setelah total biaya dari tiap kelompok dihitung, hasilnya dijumlahkan untuk memperoleh *real cost* proyek. Selanjutnya, nilai tersebut dikalikan dengan Pajak Pertambahan Nilai (PPN).

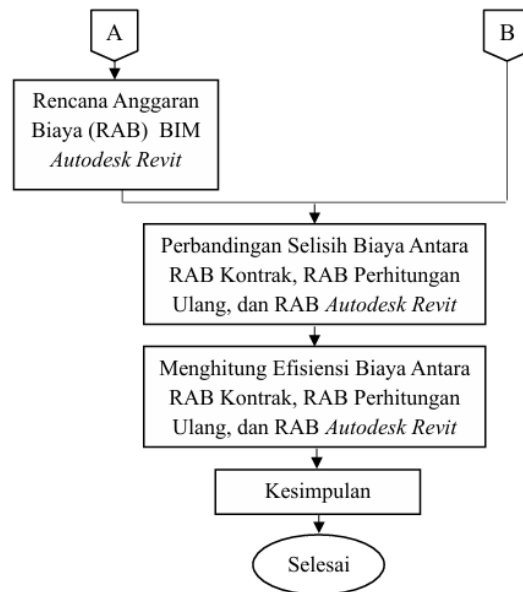
2. DATA DAN METODE

Subjek yang digunakan pada penelitian ini adalah Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha yang berlokasi di Jl. Raya Sesetan No.196, Sesetan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali. Data penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu data yang diperoleh melalui studi kepustakaan, yang mencakup dokumen resmi, buku, serta hasil-hasil penelitian terdahulu seperti laporan (Andhini, 2017). Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari kontraktor pelaksana, PT. Melangit Jaya Mandiri, setelah penulis mengajukan surat permohonan kepada pihak tersebut. Adapun data yang diperoleh meliputi:

- a) Gambar Kerja Struktur
- b) Daftar Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)
- c) Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Gambar kerja struktur digunakan sebagai acuan dalam pemodelan tiga dimensi menggunakan Autodesk Revit, dan estimasi rencana anggaran biaya digunakan untuk membandingkan hasil estimasi biaya yang dihasilkan dari pemodelan tersebut. Adapun tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.

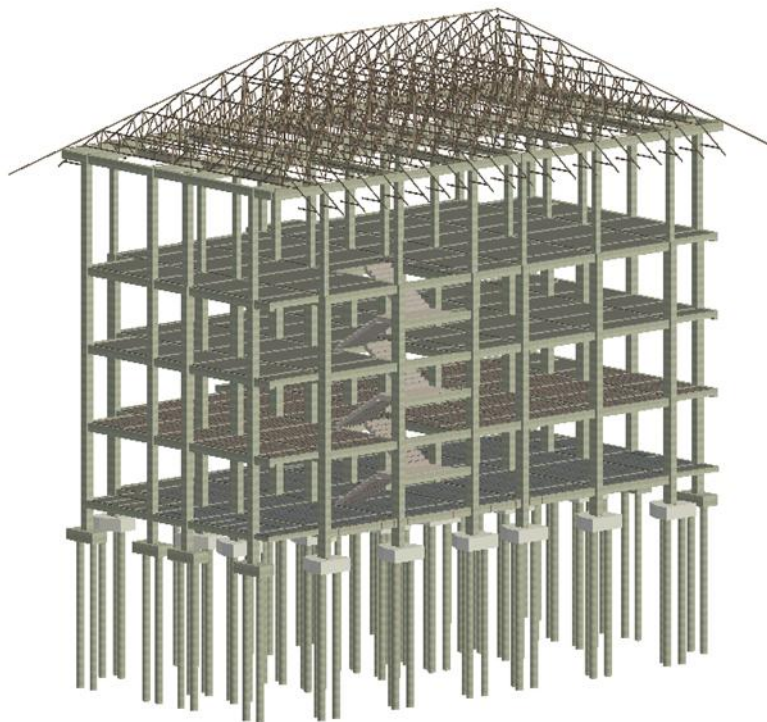




Gambar 1. Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan tiga dimensi dilakukan pada Software Autodesk Revit berdasarkan gambar kerja struktur yang diperoleh dari Kontraktor Pelaksana PT. Melangit Jaya Mandiri. Hasil pemodelan Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pemodelan 3 dimensi *autodesk revit*

3.1. Perbandingan Volume Pekerjaan Beton

Setelah penulis melakukan pemodelan di *Autodesk Revit* didapatkan volume pekerjaan beton *Autodesk Revit* sebesar 427.00 m³, sedangkan volume pekerjaan beton dokumen kontrak sebesar 446.62 m³. Selisih hasil perhitungan volume pekerjaan beton *Autodesk Revit* dengan dokumen kontrak memiliki

perbedaan sebesar 19.62 m³ atau 4.59 %. Rekapitulasi hasil perhitungan pekerjaan beton tersebut disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Perbandingan volume pekerjaan beton

No	Lantai	Volume Pekerjaan Beton (m ³)	
		Autodesk Revit	Dokumen Kontrak
1	Lantai 1	132,16	134,56
2	Lantai 2	95,90	102,38
3	Lantai 3	94,63	100,37
4	Lantai 4	85,79	89,71
5	Lantai Atap	18,52	19,60
Total		427,00	446,62

3.2. Perbandingan Volume Pekerjaan Pembesian

Setelah penulis melakukan pemodelan di *Autodesk Revit* didapatkan volume pekerjaan pembesian *Autodesk Revit* sebesar 73825.29 kg, sedangkan volume pekerjaan pembesian dokumen kontrak sebesar 90596.00 kg. Terdapat selisih antara volume pekerjaan pembesian hasil *Autodesk Revit* dengan volume berdasarkan dokumen kontrak sebesar 16770.71 kg atau 22.72 %. Rekapitulasi hasil perhitungan pekerjaan pembesian tersebut disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perbandingan volume pekerjaan pembesian

No	Lantai	Volume Pekerjaan Pemebesian (kg)	
		Autodesk Revit	Dokumen Kontrak
1	Lantai 1	22816,42	24866,98
2	Lantai 2	16384,31	21631,54
3	Lantai 3	16179,90	21390,43
4	Lantai 4	14926,49	18700,80
5	Lantai Atap	3518,17	4006,25
Total		73825,29	90596,00

3.3. Perbandingan Volume Pekerjaan Bekisting

Setelah penulis melakukan perhitungan dan momedelkan pada *Autodesk Revit* didapatkan volume pekerjaan bekisting *Autodesk Revit* sebesar 3062.25 m², volume pekerjaan bekisting dokumen kontrak sebesar 3594.53 m², dan volume pekerjaan bekisting perhitungan ulang sebesar 3265.95 m². Terdapat selisih antara volume pekerjaan bekisting hasil *Autodesk Revit* dengan volume berdasarkan dokumen kontrak sebesar 532. 28 m² atau 17.38 %. Sementara itu, selisih antara volume bekisting dokumen kontrak dengan hasil dari perhitungan ulang adalah 328.58 m² atau 9.14 %. Rekapitulasi hasil perhitungan pekerjaan pembesian tersebut disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan volume pekerjaan bekisting

No	Lantai	Volume Pekerjaan Bekisting (m ²)	
		Autodesk Revit	Dokumen Kontrak
1	Lantai 1	638,89	665,11
2	Lantai 2	748,76	913,16
3	Lantai 3	772,94	920,13
4	Lantai 4	751,71	852,89
5	Lantai Atap	149,94	243,24
Total		3062,25	3594,53

3.4. Rencana Anggaran Biaya BIM (*Autodesk Revit*)

Pekerjaan struktur pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM) dengan *Software Autodesk Revit*, berdasarkan gambar rencana yang diperoleh dari PT. Melangit Jaya Mandiri. Setelah seluruh volume pekerjaan struktur direkap, diperoleh total Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebesar Rp3.003.134.274,71. Rekapitulasi RAB hasil pemodelan tiga dimensi pekerjaan struktur tersebut disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rencana anggaran biaya BIM

No	Uraian Pekerjaan	Biaya Autodesk Revit (Rp)
1	Pekerjaan Lantai 1	1.179.310.416,28
2	Pekerjaan Lantai 2	531.302.889,68
3	Pekerjaan Lantai 3	524.198.672,31
4	Pekerjaan Lantai 4	489.809.774,22
5	Pekerjaan Lantai Atap	278.512.522,22
Total		3.003.134.274,71

3.5. Rencana Anggaran Biaya Konvensional (Dokumen Kontrak)

Adapun untuk memperoleh (RAB) yang dihitung menggunakan metode konvensional dari PT. Melangit Jaya Mandiri selaku kontraktor pelaksana pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Kampus Denpasar Undiksha, dengan nilai pekerjaan struktur sebesar Rp3.425.386.712,44. Rekapitulasi RAB Kontrak pekerjaan struktur tersebut disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rencana anggaran biaya konvensional

No	Uraian Pekerjaan	Biaya RAB Kontrak (Rp)
1	Pekerjaan Lantai 1	1.218.078.868,21
2	Pekerjaan Lantai 2	654.786.949,70
3	Pekerjaan Lantai 3	642.727.687,79
4	Pekerjaan Lantai 4	574.660.921,09
5	Pekerjaan Lantai Atap	335.132.285,65
Total		3.425.386.712,44

3.6. Perbandingan Rencana Anggaran Biaya BIM dan Konvensional

Dalam penelitian ini dilakukan analisis perbandingan terhadap tiga jenis RAB, yakni RAB hasil pemodelan BIM dengan *Autodesk Revit*, RAB dari dokumen kontrak yang diperoleh dari PT. Melangit Jaya Mandiri, dan RAB hasil perhitungan ulang menggunakan metode konvensional. Hasil perbandingan dari ketiganya dapat dilihat pada penjabaran **Tabel 6**.

Tabel 6. Perbandingan rencana anggaran biaya BIM dan konvensional

No	Uraian Pekerjaan	Biaya BIM (Autodesk Revit) (Rp)	Biaya Konvensional (RAB Kontrak) (Rp)
1	Lantai 1	1.179.310.416,28	1.218.078.868,21
2	Lantai 2	531.302.889,68	654.786.949,70
3	Lantai 3	524.198.672,31	642.727.687,79
4	Lantai 4	489.809.774,22	574.660.921,09
5	Lantai Atap	278.512.522,22	335.132.285,65
Total		3.003.134.274,71	3.425.386.712,44

Dari Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara RAB yang dihitung menggunakan metode BIM dengan RAB yang dihitung menggunakan metode konvensional. Rencana anggaran biaya hasil perhitungan menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM) melalui pemodelan dengan perangkat lunak *Autodesk Revit*, didapatkan sebesar Rp 3.003.134.274,71. Sedangkan rencana anggaran biaya dokumen kontrak yang dihitung dengan metode konvensional oleh PT. Melangit Jaya Mandiri, yaitu sebesar Rp 3.425.386.712,44. Perbandingan antara RAB hasil pemodelan *Autodesk Revit* dengan RAB berdasarkan dokumen kontrak menunjukkan selisih sebesar Rp. 422.252.437,73, dengan efisiensi perencanaan biaya sebesar 12,33%.

Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dihasilkan melalui pemodelan menggunakan *Autodesk Revit* menunjukkan nilai yang lebih rendah dan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan biaya proyek mampu memberikan hasil yang lebih akurat dan optimal. Selain menyajikan visualisasi model tiga dimensi yang informatif, *Autodesk Revit* juga berperan dalam meminimalkan pemborosan material melalui estimasi volume yang lebih tepat, sehingga menghasilkan RAB yang lebih efisien.

Perbandingan estimasi biaya antar metode dilakukan pada setiap lantai bangunan. Adapun hasil perbandingan estimasi biaya terbesar pada setiap lantai adalah sebagai berikut:

- 1) Pada lantai 1, perbedaan estimasi biaya terbesar terjadi pada pekerjaan pondasi 1, di mana estimasi biaya kontrak lebih tinggi sebesar Rp. 37.809,029,43 dibandingkan estimasi biaya *Autodesk Revit*.
- 2) Pada lantai 2, perbedaan estimasi biaya terbesar terjadi pada pekerjaan pelat lantai, di mana estimasi biaya kontrak lebih tinggi sebesar Rp. 68.699.565,47 dibandingkan estimasi biaya *Autodesk Revit*.
- 3) Pada lantai 3, perbedaan estimasi biaya terbesar terjadi pada pekerjaan pelat lantai, di mana estimasi biaya kontrak lebih tinggi sebesar Rp. 71.477.575,92 dibandingkan estimasi biaya *Autodesk Revit*.
- 4) Pada lantai 4, perbedaan estimasi biaya terbesar terjadi pada pekerjaan pelat lantai, di mana estimasi biaya kontrak lebih tinggi sebesar Rp. 71.477.575,92 dibandingkan estimasi biaya *Autodesk Revit*.
- 5) Pada lantai atap, perbedaan estimasi biaya terbesar terjadi pada pekerjaan ring balok 1, di mana estimasi biaya kontrak lebih tinggi sebesar Rp. 34.395.405,25 dibandingkan estimasi biaya *Autodesk Revit*.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan pada *Autodesk Revit*, RAB hasil perhitungan dengan metode BIM dimodelkan pada *Autodesk Revit* lebih rendah yaitu sebesar Rp 3.003.134.274,71. sedangkan RAB dokumen kontrak dari PT. Melangit Jaya Mandiri yaitu sebesar Rp 3.425.386.712,44. Perbandingan RAB hasil pemodelan *Autodesk Revit* dengan RAB kontrak menunjukkan selisih Rp 422.252.437,73 dengan nilai efisiensi 12,33%. Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dihasilkan melalui pemodelan menggunakan *Autodesk Revit* menunjukkan nilai yang lebih rendah dan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan biaya proyek dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan optimal.

REFERENSI

- Ahmad, P. F., & Budi, W. (2022). Implementasi Revit. *Implementasi Autodesk Revit Untuk Quantity Take Off Pada Pekerjaan Struktur Jembatan*, 5, 408–416.
- Andhini, N. F. (2017). Analisis Eksternalitas Peternakan Burung Puyuh Terhadap Kesejahteraan Masyarakat Perspektif Ekonomi Islam. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 34–42.
- Muhamad Alimin, Imron, & Muhammad Taulani. (2023). Penerapan *Bulding Information Modelling* (BIM) Autodesk Revit dalam Pembuatan *Bar Bending Schedule* (BBS) Pondasi Pile Cap Proyek Apartemen Jkt Living Star - Jakarta Timur. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 21–32. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i2.1599>
- Pamungkas, A. P. (2022). Analisis Optimalisasi Perhitungan RAB Menggunakan Revit (Studi Kasus Pembangunan Gedung Bank BRI. *Analisis Optimalisasi Perhitungan Rab Menggunakan Revit (Studi Kasus Pembangunan Gedung Bank Bri Jl. Sisingamangaraja – Medan Kota)*, 28–29.
- Puluhulawa, I. (2023). Quantity Take Off pada Perencanaan Gedung Apartemen Menggunakan BIM Revit. *Jurnal TeKLA*, 5(1), 47. <https://doi.org/10.35314/tekla.v5i1.3422>
- Rahaditya, A. V., & Bhaskara, A. B. I. (2020). *Tutorial Pemodelan, Perhitungan Volume, Dan Biaya Menggunakan Revit 2018*.
- Sangadji, S., Kristiawan, S. A., & Saputra, I. K. (2019). Pengaplikasian Building Information Modeling (BIM) Dalam Desain Bangunan Gedung. *Matriks Teknik Sipil*, 7(4), 381–386. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v7i4.38475>
- Suasira, I. W., Tapayasa, I. M., Santiana, I. M. A., & Wibawa, I. G. S. (2021). Analisis Komparasi Metode Building Information Modeling (Bim) Dan Metode Konvensional Pada Perhitungan Rab Struktur Proyek (Studi Kasus Pembangunan Pasar Desa Adat Pecatu). *Jurnal Teknik Gradien*, 13(1), 12–19. <https://doi.org/10.47329/teknikgradien.v13i1.737>

Analisis karakteristik campuran aspal beton AC-BC (*asphalt concrete - binder course*) dengan penggunaan abu kulit kopi sebagai *filler*

Agus Budi Yanto ¹, Sazuatmo², Elsa Rati Hariza ³

¹²³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH

Corresponding Author:

Email:

Keywords:

AC-WC, coffee husk ask, filler, marshal test, optimum asphalt content

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The objective of this research is to evaluate the characteristics of Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) mixtures by utilizing coffee husk ash as a filler material. Coffee husk is an organic waste byproduct from the coffee bean processing industry, which has rarely been used in the construction sector. This study was conducted with variations of coffee husk ash filler proportions of 25%, 50%, 75%, and 100% of the total filler, and applied the Marshall test method to analyze stability, flow, VMA, VIM, VFA, and the Marshall Quotient. The test results indicated an Optimum Asphalt Content (OAC) of 5.25%. Mixtures with 25% and 50% filler content demonstrated performance that met the 2018 Bina Marga specifications, with good values of stability, VFA, and MQ, while the 75% and 100% variations showed a decline in quality. Coffee husk ash has potential as a substitute filler in AC-BC asphalt mixtures; however, its use is recommended not to exceed 50% in order to maintain the quality and performance of the mixture. The findings of this study serve as a reference for developing more environmentally friendly and cost-effective pavement materials.*

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan raya memiliki fungsi vital sebagai jalur mobilitas darat yang kian signifikan dalam mendorong kemajuan ekonomi, pertukaran informasi, hubungan sosial, pelestarian budaya, dan penguatan ketahanan negara (Zahra et al., 2024). Pelaksanaan konstruksi jalur darat saat ini menuntut peningkatan mutu dan efisiensi anggaran. Setiap tahap pembangunan memerlukan persiapan terperinci, khususnya dalam menentukan jenis material karena hal tersebut memengaruhi ketahanan serta performa struktur lapis jalan. Mutu konstruksi permukaan jalan dapat diperbaiki melalui perencanaan teknis yang optimal dan pemanfaatan elemen penyusun secara fungsional dan proporsional (Mulyo et al., 2023). Oleh karena itu, penetapan komposisi material dalam struktur lapisan jalan menjadi aspek vital dalam menjamin mutu serta efisiensi keseluruhan struktur, sekaligus memastikan ketahanannya terhadap berbagai bentuk degradasi jalan.

Perkerasan berlapis aspal adalah sebuah kategori material dipakai membangun jalanan telah lama diterapkan dan kebanyakan menggunakan dalam pembangunan jalur transportasi. Di Indonesia sendiri, pemakaiannya sering terjadi tingkatan signifikan setiap tahunnya. Peningkatan ini terjadi karena perkerasan aspal memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan material lainnya, seperti biaya yang lebih terjangkau dibandingkan konstruksi beton, kapasitas tinggi dalam menopang muatan besar, mudah diproduksi dari sumber material lokal, serta memiliki ketahanan terhadap kondisi iklim. Proses produksinya meliputi pencampuran bertahap antara agregat dan pengikat, kemudian dilakukan penyebaran dan pemadatan pada temperatur tertentu untuk menghasilkan struktur yang kokoh (Bina Marga, 2018). Bitumen merupakan komponen utama dalam sistem lapisan jalan yang berfungsi sebagai unsur perekat antar partikel material. Dalam kajian ini, jenis bitumen yang digunakan adalah tipe penetrasi 60/70, yang dipilih karena cocok dengan karakteristik iklim tropis Indonesia dan lazim diterapkan pada struktur lapis perkerasan. Campuran aspal bergradasi (AC-BC) adalah jenis lapisan perkerasan yang terbentuk dari kombinasi kerikil besar, pasir halus, zat pengikat, serta bahan tambahan berupa pengisi untuk menyempurnakan stabilitas campuran tersebut. Material batuan dan perekat aspal memiliki sifat yang bervariasi, ditentukan oleh sejumlah indikator seperti massa volumetrik, daya serap air, distribusi ukuran partikel, ketahanan terhadap gesekan, kemampuan tembus, elastisitas, kekentalan fluida, dan sebagainya. Kerap kali, batuan yang dimanfaatkan berasal dari kombinasi

beberapa lokasi yang berbeda, dengan metode pencampuran yang tidak seragam, sehingga tidak terdapat satu formula pasti untuk memproduksi campuran aspal beton dengan spesifikasi identik. Lapisan beton aspal merupakan bagian atas dari struktur jalan yang berperan sebagai elemen penopang utama beban lalu lintas (Rombot et al., 2015).

Material halus dalam campuran perkerasan bitumen berfungsi untuk memperkuat ikatan antara elemen campuran, sehingga mampu meningkatkan ketahanan struktural. Partikel mikro ini berperan dalam menutup ruang kosong di antara butiran mineral (Fauziah, 2014). Secara luas, jenis partikel halus yang kerap digunakan mencakup debu batuan, residu pembakaran batu bara, serbuk semen, kapur tohor, dan bahan halus tak plastis lainnya. Menurut ketentuan dari Ditjen Jalan (2010), zat halus yang digunakan sebagai bahan tambahan harus dalam keadaan tidak lembap serta bebas dari gumpalan. Bila diuji menggunakan metode pemisahan butiran, material tersebut harus melewati saringan ukuran 0,075 mm. Penelitian ini memanfaatkan serbuk hasil pengolahan kulit kopi sebagai alternatif bahan tambahan. Kulit kopi berasal dari limbah pengupasan lapisan luar buah kopi yang telah masak. Sisa hasil produksi ini mencakup sekitar 40–45% dari total buah, namun hingga kini belum dimanfaatkan secara maksimal dalam bidang konstruksi maupun industri lainnya (Widyasanti & Muharram, 2023).

Paparan sebelumnya menggambarkan sejumlah aspek yang berkaitan dengan kemungkinan efek penggunaan abu dari kulit kopi sebagai unsur tambahan halus terhadap nilai-nilai karakteristik Marshall pada campuran lapis aspal beton tipe AC-BC. Berdasarkan hal tersebut, peneliti merasa perlu untuk mengangkat topik ini dalam bentuk penelitian ilmiah dengan judul karya akhir sebagai berikut: “Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Ac-Bc (*Asphal Concrete-Binder Course*) dengan Penggunaan Abu Kulit Kopi Sebagai *Filler*”.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH Bengkulu. Metodologi yang diterapkan berupa pengujian terhadap sifat-sifat campuran aspal beton jenis AC-BC memanfaatkan abu kulit kopi sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam berbagai tingkatan variasi komposisi. Penilaian terhadap karakteristik campuran dilakukan melalui pengujian Marshall guna mengukur parameter kekuatan (stabilitas), deformasi plastis (*flow*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat mineral (VMA), serta rongga yang terisi aspal (VFA).

Di samping pengujian Marshall ini dikerjakan pula berbagai uji terhadap material pembentuk campuran, mencakup uji penetrasi, titik lunak, titik nyala, massa jenis, dan kelenturan (daktilitas) aspal, serta pengujian berat jenis dan daya serap agregat, distribusi ukuran partikel agregat (gradasi), serta ketahanan aus agregat menggunakan mesin Los Angeles. Seluruh prosedur pengujian ini mengikuti standar yang ditetapkan oleh AASHTO, SNI, serta PB.0201–76, dan memakai perangkat sesuai dengan pedoman teknis dari Departemen Kimpraswil.

Tahapan pengujian melibatkan sejumlah langkah, mulai dari persiapan material dan peralatan, penentuan kadar aspal optimum (KAO), hingga proses pembuatan spesimen uji melalui pemanasan, pencampuran, pemadatan, dan perendaman. Informasi yang diperoleh dari pengujian ini dianalisis untuk mengevaluasi performa campuran aspal beton dengan perbedaan proporsi filler abu kulit kopi, sehingga dapat ditentukan kadar optimum yang mampu meningkatkan mutu perkerasan jalan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Agregat

3.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar didapatkan bahwa berat jenis semu 2,95 sedangkan penyerapan agregat kasar sebesar 2,79 %. Adapun lebih lengkap terkait data uji berat jenis dan penyerapan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Uji Kerapatan Relatif dan Daya Serap Agregat Ukuran Besar

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Massa sampel setelah dikeringkan dalam pemanas	Bk	475.0	440.00	457.50	gram
2	Berat Piknometer + air	B	675.00	676.30	675.65	gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	486.90	453.50	470.20	gram
4	Massa total alat ukur piknometer beserta sampel dalam keadaan jenuh permukaan kering dan cairan pelarut	Bt	984.10	971.50	977.80	gram
5	Kerapatan relatif massa total	BJ	2.67	2.78	2.73	gram
6	Kerapatan spesifik pada keadaan jenuh permukaan kering	BJk	2.74	2.86	2.80	gram
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2.86	3.04	2.95	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		2.51	3.07	2.79	%

3.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) agregat medium didapatkan sebesar 3,15. Sementara itu, nilai penyerapan (*Absorption*) rata-rata adalah 2,66% seperti yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Uji Kepadatan Relatif dan Daya Serap Agregat Ukuran Menengah

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Berat benda uji kering oven	Bk	415.50	442.20	428.85	gram
2	Berat Piknometer + air	B	675.30	676.20	675.75	gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	425.70	454.90	440.30	gram
4	Berat piknometer + benda uji kondisi SSD + air	Bt	951.10	985.30	968.20	gram
5	Berat jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	BJ	2.77	3.03	2.90	gram
6	BJ kering permukaan jenuh (SSD)	BJk	2.84	3.12	2.98	gram
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2.97	3.32	3.15	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		2.45	2.87	2.66	%

3.3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) agregat halus memiliki nilai rata-rata sebesar 2,88, sedangkan nilai penyerapan (*Absorption*) diperoleh sebesar 2,99% seperti yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rekapitulasi Uji Kerapatan Relatif dan Daya Serap Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Simbol	Uji 1	Uji 2	Rata-rata	Satuan
1	Bobot benda yang akan diuji oven	Bk	450.80	410.40	430.60	gram
2	Berat Piknometer + air	B	675.40	675.30	675.35	gram
3	Berat benda uji kondisi SSD	Bs	463.50	423.40	443.45	gram
4	Massa total alat ukur piknometer beserta sampel dalam keadaan jenuh permukaan kering dan cairan pelarut	Bt	967.50	945.40	956.45	gram
5	Kerapatan relatif massa total	BJ	2.63	2.68	2.65	gram
6	Kerapatan spesifik pada keadaan jenuh permukaan kering	BJk	2.70	2.76	2.73	gram
7	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	BJs	2.84	2.93	2.88	
8	Penyerapan (<i>Absorption</i>)		2.82	3.17	2.99	%

3.4. Pengujian Analisis Saringan

Uji analisis ayakan merupakan proses pengelompokan ukuran partikel agregat kasar dan halus menjadi susunan campuran berdasarkan ukuran saringan. Hasil pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi rentang distribusi ukuran partikel dari masing-masing agregat yang diuji (Bumulo &

Rusnadin, 2018). Adapun hasil dari pengujian analisis saringan disajikan pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Analisis Penyarinagn Agregat Kasar

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Komulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
1	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	302.70	30.27	30.27	69.73
3/8"	106.80	10.68	40.95	59.05
4	130.70	13.07	54.02	45.98
8	101.50	10.15	64.17	35.83
16	121.40	12.14	76.31	23.69
30	109.80	10.98	87.29	12.71
50	40.80	4.08	91.37	8.63
100	24.70	2.47	93.84	6.16
200	17.40	1.74	95.58	4.42
Pan	44.20	4.42	100.00	0.00
Total	1000.00	100.00		

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Medium

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Komulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
1	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	157.60	15.76	15.76	84.24
4	215.30	21.53	37.29	62.71
8	221.20	22.12	59.41	40.59
16	123.80	12.38	71.79	28.21
30	68.10	6.81	78.60	21.40
50	69.10	6.91	85.51	14.49
100	65.20	6.52	92.03	7.97
200	38.50	3.85	95.88	4.12
Pan	41.20	4.12	100.00	0.00
Total	1000.00	100.00		

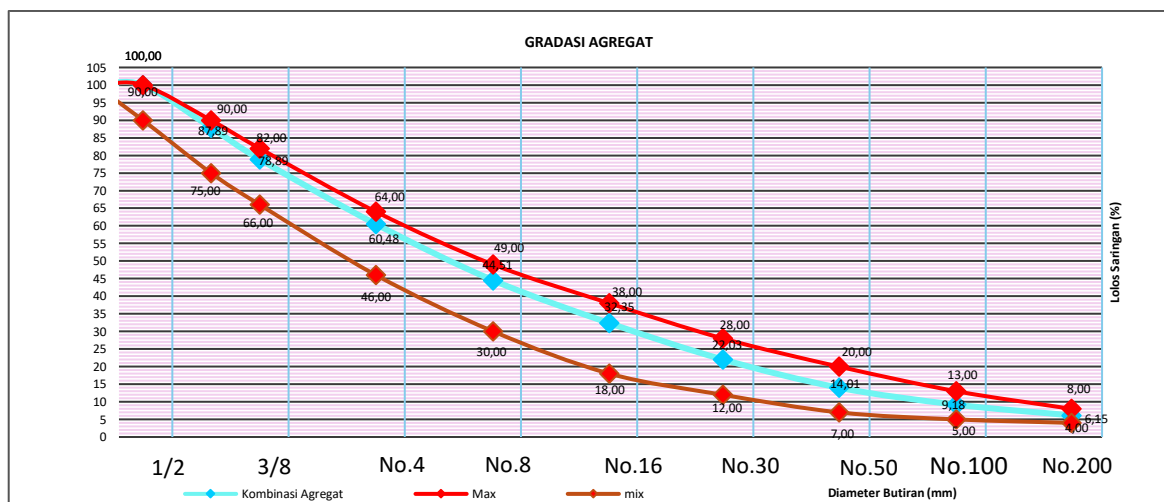
Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus

No. Saringan	Berat tertahan (gram)	Persen tertahan (%)	Persen tertahan Komulatif (%)	Persen lolos berat lebih kecil kumulatif (%)
1	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	240.10	24.01	24.01	75.99
8	188.30	18.83	42.84	57.16
16	128.30	12.83	55.67	44.33
30	138.65	13.87	69.54	30.47
50	154.30	15.43	84.97	15.04
100	67.15	6.72	91.68	8.32
200	42.40	4.24	95.92	4.08
Pan	40.80	4.08	100.00	0.00
Total	1000.00	100.00		

Adapun setelah dilakukan pengujian analisis saringan terhadap masing-masing agregat maka akan didapatkan kombinasi agregat yang disajikan pada **Tabel 7** dan **Gambar 1**.

Tabel 7. Hasil kombinasi campuran agregat

PENCAMPURAN AGREGAT											
URAIAN	Ukuran Saringan										
Inc	1	3/4'	1/2'	3/8'	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
mm	25.4	19.05	12.70	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
Data Material											
Agregat 1,0-2,0	100	100.00	69.73	59.05	45.98	35.83	23.69	12.71	8.63	6.16	4.42
Agregat 0,5-1,0	100	100.00	100	84.24	62.71	40.59	28.21	21.40	14.49	7.97	4.12
Abu Batu 0-0,5	100.	100.00	100	100	75.99	57.16	44.33	30.47	15.04	8.32	4.08
Filler Cement	100	100.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Komposisi Campuran											
Agregat 1,0-2,0	40.00	40.00	27.89	23.62	18.39	14.33	9.48	5.08	3.45	2.46	1.77
Agregat 0,5-1,0 0%	30.00	30.00	30.00	25.27	18.81	12.18	8.46	6.42	4.35	2.39	1.24
Abu Batu 0-0,5 28%	28.00	28.00	28.00	28.00	21.28	16.00	12.41	8.53	4.21	2.33	1.14
Filler Cement 2%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Total Campuran 100%	100	100	87.89	78.89	60.48	44.51	32.35	22.03	14.01	9.18	6.15
Spec. Gradasi											
Max	100	100.00	90.00	82.00	64.00	49.00	38.00	28.00	20.00	13.00	8.00
Komposisi Campuran	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi	Memuhi
Mix	100	90.00	75.00	66.00	46.00	30.00	18.00	12.00	7.00	5.00	4.00



Gambar 1. Hasil Kombinasi Agregat Standar**3.5. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles**

Uji yang dilakukan bertujuan sebagai penentuan angka aus batuan berdasarkan persentase sebagai memberi perbedaan bobot material yang aus dengan bobot awal. Uji ini memakai alat berupa Los Angeles dilakukan berdasarkan metode pengujian PB.0206-76, dengan batas maksimum yang diperkenankan sebesar 40%. Hasil perhitungan tingkat keausan agregat pada studi **Tabel 8.**

Tabel 8. hasil uji aus Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Benda Uji		500 putaran		KET
Saringan		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	
Lewat	Tertahan			
50,8 mm (2 ")	37,5 mm (1 ½ ")	-	-	Digunakan Digunakan
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)	-	-	
Total bobot		5000		hasil memenuhi
Bobot menahan saringan No. 12			3785	
Nilai Keausan (Syarat ≤ 40%)			24.3 %	

B. Pengujian Aspal**3.1. Pengujian Penetrasi Aspal Pen 60/70**

Hasil pengujian penetrasi aspal Pen 60/70 pada suhu 25°C dengan beban 100 gram selama 5 detik menunjukkan nilai rata-rata sebesar 65,6 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 9.**

Tabel 9. Hasil Penetrasi Aspal Pen 60/70

Penetrasi pada suhu 25°C 100 gr, 5 detik	Pemeriksaan I	Pemeriksaan II	Keterangan
1	63	60	
2	65	63	
3	70	67	
4	67	69	
5	62	70	
Rata-rata	65.4	65.8	65.6

3.2. Pengujian Titik Nyala Aspal

Pengujian terhadap pemeriksaan suhu penyalaan dan suhu pembakaran aspal metode Cleveland Open Cup dilaksanakan berdasarkan standar AASHTO T-48-74 atau PA.0303-76. Uji ini bertujuan mengetahui suhu pada saat permukaan aspal mulai menunjukkan nyala api (titik nyala), serta suhu saat nyala tersebut bertahan setidaknya selama lima detik (titik bakar) (M.T. Gunawan, 2013) seperti yang disajikan pada **Tabel 10.**

Tabel 10. Hasil Pengujian Titik Nyala

°C dibawah titik nyala	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Titik nyala	Keterangan
56	00'00	205		
51	00'19	210		
46	01'10	215		
41	01'58	220		
36	02'45	225		
31	03'52	230		
26	04'31	235		
21	05'35	240		
16	06'30	245	245 °C	Nyala

3.3. Pengujian Titik Lembek Aspal

Hasil pengujian titik lembek aspal menunjukkan bahwa nilai titik lembek rata-rata diperoleh sebesar 55°C seperti yang disajikan pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)		Keterangan
		I	II	I	II	
1	30	"00'00"00"	"00'00"00"			
2	35	"05'16"70"	"05'16"70"			
3	40	"09'15"22"	"09'15"22"			
4	45	"14'35"15"	"14'35"15"			
5	50	"17'09"80"	"17'09"80"			
6	55	"18'29"60"	"18'29"60"	54		
7	60	"19'54"12"	"19'54"12"		56	55

3.4. Pengujian Berat Jenis Aspal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis aspal yang diperoleh adalah sebesar 1,08, dan hasil tersebut dinyatakan memenuhi persyaratan seperti yang disajikan pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Hasil uji bobot Aspal

Pengujian	Benda Uji I (Gram)	Benda Uji II (Gram)	Rata-Rata	Keterangan
Berat Piknometer + air (B)	106.00	104.00	105.00	
Berat Piknometer (A)	50.00	50.00	50.00	
Berat air (isi Piknometer) (C = B - A)	56.00	54.00	55.00	
Berat Piknometer + contoh (D)	85.00	83.00	84.00	
Berat Piknometer (A)	50.00	50.00	166.50	
Berat contoh (E = D - A)	35.00	33.00	34.00	
Berat Piknometer + air + contoh (F)	79.00	78.00	78.50	
Berat Piknometer + contoh (D)	85.00	83.00	84.00	
Berat air (G = F - D)	23.00	24.00	23.50	
Isi Bitumen (I = C - G)	33.00	30.00	31.50	
Berat jenis bitumen (H = E / I)	1.06	1.10	1.08	Memenuhi

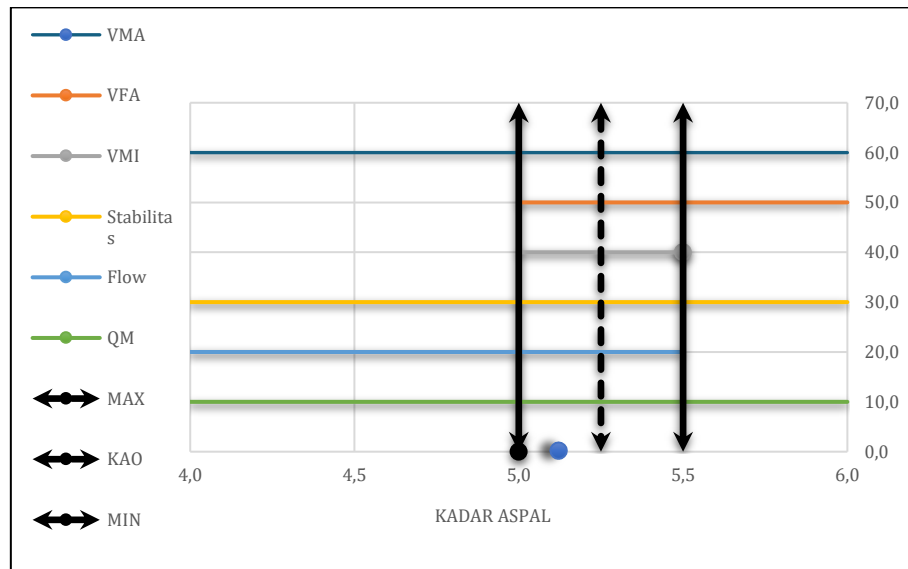
C. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimal diperoleh melalui penilaian rata-rata dari kadar aspal yang menghasilkan nilai stabilitas tertinggi. Nilai kadar aspal optimal dalam campuran aspal dapat bervariasi, bergantung pada massa agregat, distribusi ukuran butir (gradasi), jenis aspal, serta berat jenis campurannya. Persentase dipakai riset yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, dengan suhu minimum pemanasan aspal sebesar 110°C dan suhu minimum agregat sebesar 120°C. Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, perlu dianalisis apakah campuran telah memenuhi persyaratan sesuai ketentuan yang berlaku (Lebang, 2021) seperti hasil yang disajikan pada **Tabel 13** dan **Gambar 2**.

- 1) 4,0% x 1200 = 48 gram
- 2) 4,5% x 1200 = 54 gram
- 3) 5,0% x 1200 = 60 gram
- 4) 5,5% x 1200 = 66 gram
- 5) 6,0% x 1200 = 72 gram

Tabel 13. Hasil Pengujian *Marshall* Penentuan KAO

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			4	4.5	5	5.5	6
1.	VMA (%)	≥ 14	14.74	15.60	15.66	15.81	16.13
2.	VFA (%)	≥ 63	59.3	62.4	69.0	74.9	79.8
3.	VIM (%)	3.5-5.5	6.0	5.9	4.9	4.0	3.3
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	2200.5	2094.0	1953.0	1891.9	1860.5
5.	Flow (mm)	2--4	2.2	2.8	3.5	3.7	4.3
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	1186.3	900.0	677.1	607.9	525.7



Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Gambar 2, dapat diamati bahwa hasil uji Marshall menunjukkan seluruh parameter memenuhi ketentuan pada kadar aspal 5,0% hingga 5,5%. Dari temuan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

Penambahan Abu Kulit Kopi Terhadap Karakteristik Marshall

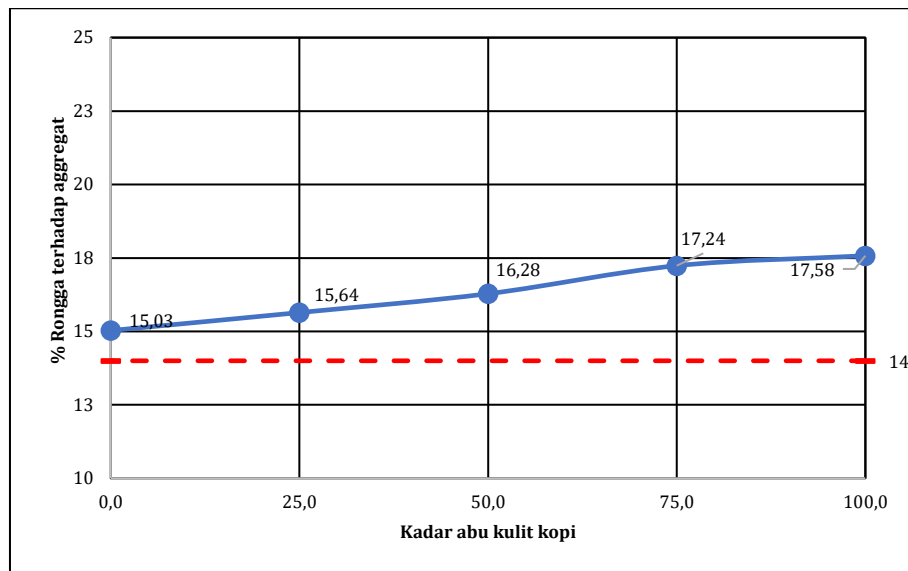
Uji dikerjakan sesudah penolaian KAO sudah yang dihasilkan kemudian dibuat gabungan aspal tambahan abu kulit kopi dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75 % dan 100 %. Benda uji dibuat masing-masing 2 buah setiap persentasenya dan berat total 1200 gram setiap sampelnya. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh penggunaan abu kulit kopi terhadap karakteristik *marshall* yang meliputi, *VMA*, *VFA*, *VIM*, *stabilitas*, *flow*, dan *MQ*. Adapun hasil pengujian *Marshall* dengan penggunaan abu kulit kopi **Tabel 14**.

Tabel 14 .hasil uji Marshall Pada Tiap Persentase *Filler* Abu Kulit Kopi

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Abu Kulit Kopi (%)				
			0	25	50	75	100
1.	VMA (%)	≥ 14	15.03	15.64	16.28	17.24	17.58
2.	VFA (%)	≥ 63	75.9	72.4	69.3	64.6	63.06
3.	VIM (%)	3.5-5.5	3.6	4.3	5.1	6.1	6.5
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1948.6	1904.8	1828.9	1775.4	1691.0
5.	Flow (mm)	2--4	3.3	3.5	3.8	5.0	5.4
6.	QM (kg/mm)	≥ 250	712.7	653.1	578.3	434.1	375.3

VMA (*Void In Mineral Agregat*)

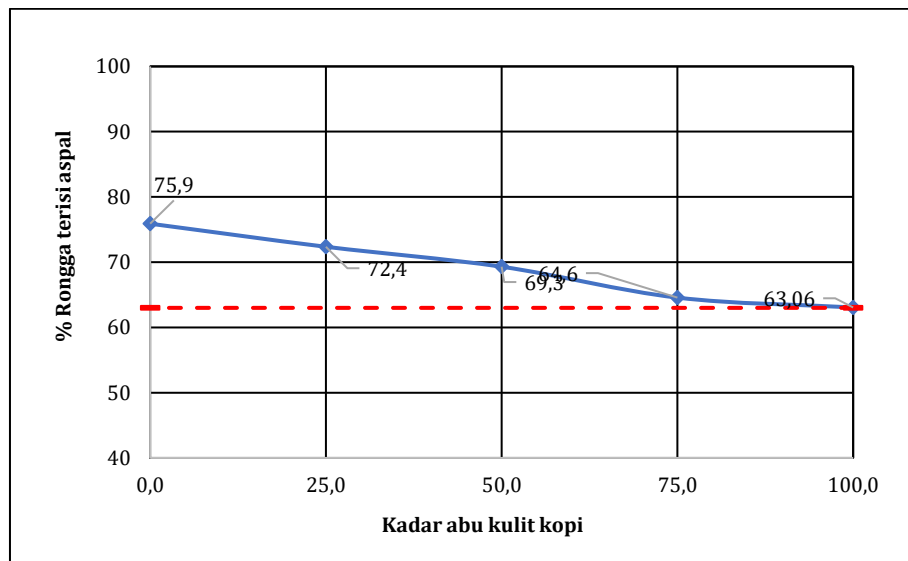
Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai VMA yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar 15,03 terjadi peningkatan seiring bertambahnya persentase abu kulit kopi yaitu, 25% (15.64), 50% (16.28), 75% (17.24) dan 100% (17.58) Nilai VMA pada seluruh variasi kadar abu kulit kopi tercatat melebihi batasan yang sesuai aturan Bina 2018, yakni sebesar ≥ 14 . Tinggi rendahnya angka VMA disebabkan jumlah aspal melapisi agregat; semakin tinggi kadar aspal, maka lapisan aspal yang membungkus agregat akan semakin tebal, mengakibatkan jarak antar butir agregat menjadi lebih longgar. Sebaliknya, jika kandungan aspal rendah, maka lapisan pelindung agregat akan lebih tipis, sehingga celah antar agregat menjadi lebih rapat.



Gambar 3. Grafik Hubungan VMA Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

VFA (Void Filled With Asphalt)

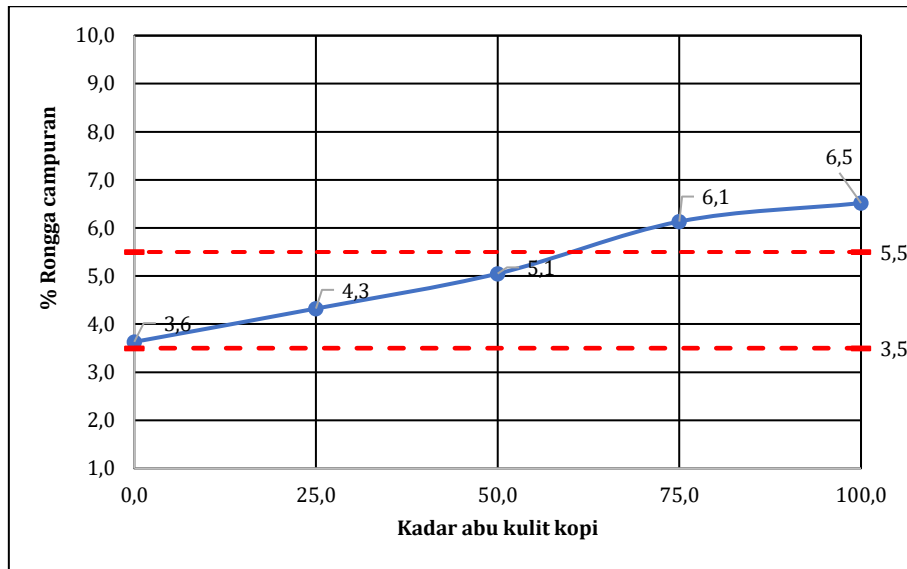
Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai VFA yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar 75,9 terjadi penurunan seiring bertambahnya persentase abu kulit kopi yaitu, 25% (72,4), 50% (69,3), 75% (64,6) dan 100% (63,06) nilai VFA untuk semua persentase abu kulit kopi memenuhi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum 2018 yaitu ≥ 63 .



Gambar 4. Grafik Hubungan VFA Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

VIM (Voil In The Mix)

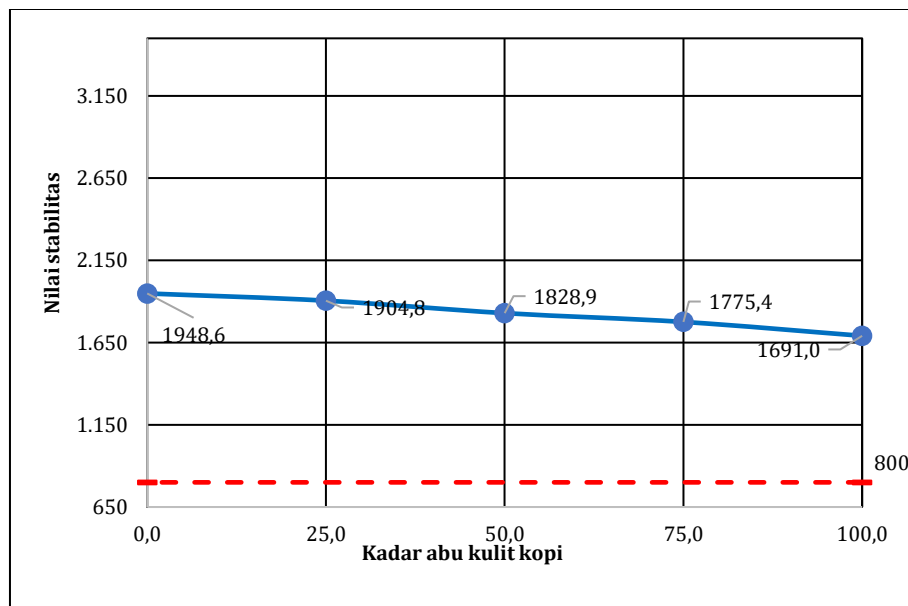
Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai VFA yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar 3.6 terjadi peningkatan seiring bertambahnya persentase abu kulit kopi yaitu, 25% (4.3), 50% (5.1), 75% (6.1) dan 100% (6.5) Persentase VIM pada komposisi 25% dan 50% abu kulit kopi sebagai *filler* telah sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum 2018, yaitu dalam rentang 3,5 hingga 5,5. Namun, pada proporsi 75% dan 100%, nilai VIM tidak memenuhi standar yang ditetapkan. VIM sendiri merupakan ukuran proporsi volume rongga udara dalam suatu campuran; semakin tinggi volume rongga tersebut, maka nilai VIM juga akan meningkat, yang menandakan bahwa campuran tersebut memiliki sifat lebih berpori atau kurang padat.



Gambar 5. Grafik Hubungan VIM Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

Stabilitas

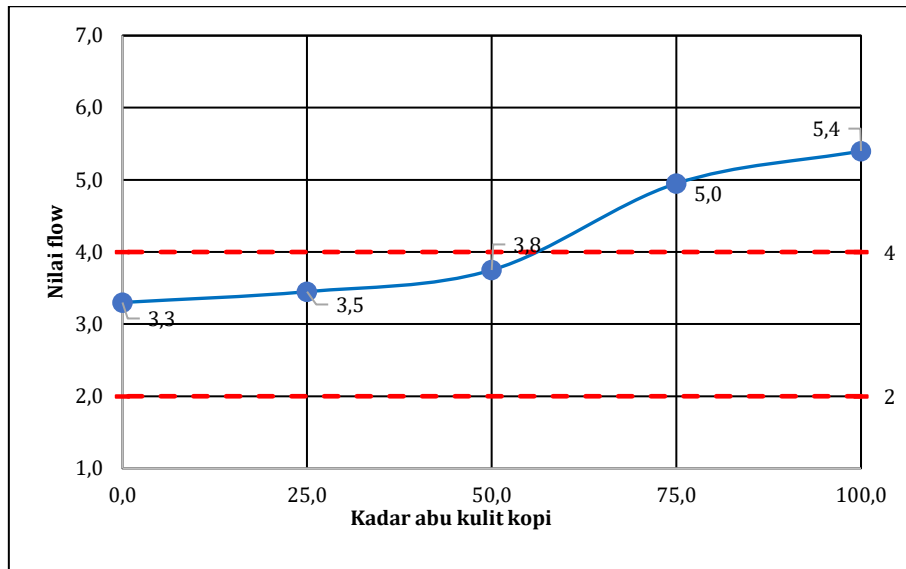
Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai Stabilitas yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar 1948.6 kg terdapat kecenderungan penurunan pada nilai stabilitas seiring meningkatnya persentase penggunaan filler abu kulit kopi. Hal ini dikarenakan sifat abu kulit kopi yang relatif lunak dan memiliki daya serap air yang tinggi. Penurunan nilai stabilitas tercatat pada kadar filler 25% sebesar 1904,8 kg, 50% sebesar 1828,9 kg, 75% sebesar 1775,4 kg, dan 100% sebesar 1691,0 kg. Meskipun mengalami penurunan, seluruh nilai stabilitas tersebut masih melebihi batas paling kecil sesuai Bina 2018 yaitu tidak lebih dari 800 kg.



Gambar 6. Grafik Hubungan Stabilitas Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

Flow (Kelelehan)

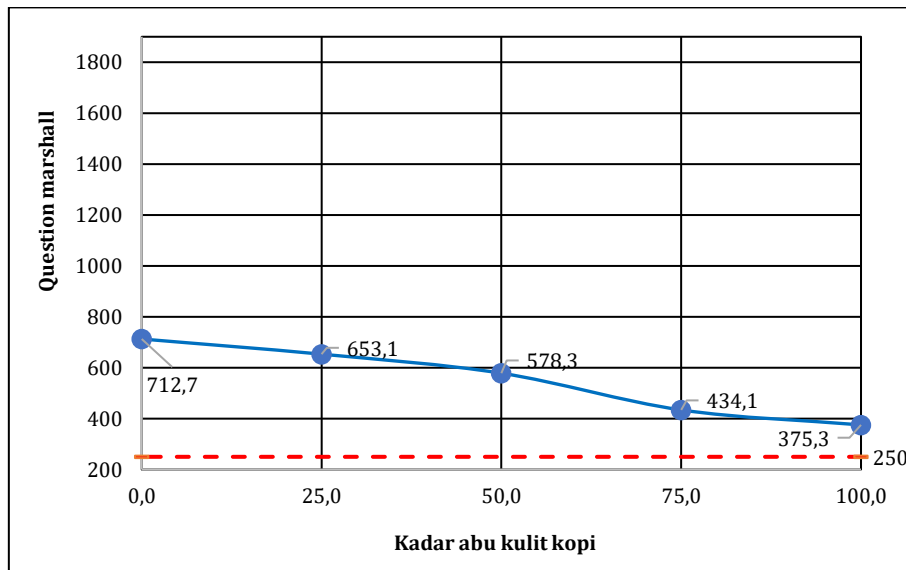
Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai *Flow* (Kelelehan) yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar (3.3 mm) terjadi peningkatan nilai *flow* seiring dengan bertambahnya persentase *filler* abu kulit kopi. Peningkatan pada varian Pada campuran dengan kadar filler abu kulit kopi sebesar 25% (3,5 mm) dan 50% (3,8 mm), nilai *flow* masih berada dalam rentang standar yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum 2018, yakni antara 3,5 hingga 5,5 mm. Namun, pada kadar 75% (5,0 mm) dan 100% (5,4 mm), meskipun nilainya terlihat mendekati batas atas, hasil *flow* sudah tidak lagi sesuai dengan kriteria yang dipersyaratkan.



Gambar 7. Grafik Hubungan *Flow* Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

MQ (*Marshall Quantient*)

Gambar 8 menunjukkan nilai MQ (*Marshall Quantient*) yang tanpa menggunakan abu kulit kopi sebesar (712.7 kg/mm) untuk masing memberikan hasil tidak lebih dari sesuai aturan Spesifikasi Umum 2018 yaitu 250 kg/mm. terjadi penurunan nilai *flow* seiring dengan bertambahnya persentase *filler* abu kulit kopi. Penurunan pada varian filler 25% (653.1 kg/mm), 50% (578.3 kg/mm), 75% (434.1 kg/mm) dan 100% (375.3 kg/mm) nilai MQ adalah perbedaan nilai stabilnya terhadap nilai *flow*, yang mencerminkan tingkat kelenturan atau kekakuan dari suatu campuran. Jika hasilnya tinggi nilai *Marshall Quotient*, maka campuran bersifat lebih kaku. Sebaliknya, apabila nilai *Marshall Quotient* rendah, maka campuran menunjukkan sifat yang lebih lentur.



Gambar 8. Grafik Hubungan *MQ* Dengan Persentase *Filler* abu Kulit Kopi

Berdasarkan hasil uji *Marshall* yang telah dilakukan, diperoleh berbagai informasi dan temuan data yang diperlukan untuk menentukan campuran tersebut dapat digunakan atau tidak. Pengujian *marshall* dengan penggunaan abu kulit kopi nilai VMA, VFA, Stabilitas dan MQ sesuai aturan pada klasifikasi Umum 2018. Untuk nilai VIM dan *Flow* terdapat kadar *filler* yang tidak memenuhi yaitu pada penggunaan *filler* pada 75% dan 100% ini menunjukkan bahwa tidak dapat digunakan sebagai komposisi campuran aspal (JMF). sedangkan pada varian 25% dan 50% memenuhi semua kriteria yang ditentukan pada Spesifikasi Umum 2018.

4. KESIMPULAN

Nilai marshall yang didapatkan dari campuran laston AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan penggunaan abu kulit kopi sebagai *filler* 25%, 50%, 75% dan 100% sehingga didapatkan Kadar Penambahan Optimum (KPO) abu kulit kopi 25% dan 50%. Maka dapat disimpulkan bahwa Kadar Penambahan Optimum 25% memiliki nilai VMA 15.64%, VFA 72.4%, VIM 4.3%, Nilai stabilitas mencapai 1904,8 kg dengan nilai aliran (flow) sebesar 3,3 mm serta Marshall Quotient sebesar 694,7 kg/mm. Sementara itu, pada tingkat penambahan optimal sebesar 50%, diperoleh nilai VMA yaitu 16,28%, VFA yaitu 69,3%, dan VIM yaitu 5,1%, dengan stabilitas 1828,9 kg, aliran 3,5 mm, serta Marshall Quotient 627,7 kg/mm. Seluruh parameter tersebut telah sesuai dengan ketentuan standar dalam Spesifikasi Umum tahun 2018. Berdasarkan hasil uji Marshall yang telah dilaksanakan, diperoleh bahwa persentase kadar aspal terbaik dalam mencampurkan Laston AC-BC yang menggunakan abu kulit kopi untuk bahan pengisi adalah sebesar 5,25% sebagai kadar aspal optimum (KAO).

Dari hasil penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa mencampurkan laston AC-BC setelah penggunaan abu kulit kopi sebagai *filler* mengalami pengaruh signifikan pada parameter *Marshall* menyebabkan nilai VFA, Stabilitas dan MQ menurun seiring bertambahnya persentase *filler* abu kulit kopi sedangkan Peningkatan nilai VMA, VIM, dan Flow terjadi sejalan dengan naiknya proporsi bahan pengisi pada kadar aspal optimum sebesar 5,25%, berdasarkan ketetapan yaitu kadar *filler* 25% - 50 %. Jika semakin banyak persentase *filler* yang digunakan pada Kadar Aspal yang digunakan akan mempengaruhi rendahnya kualitas campuran laston AC-BC.

REFERENSI

- Abdullah, Z. Z., Wesli, W., & Akbar, S. J. (2017). Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 121. <https://doi.org/10.29103/tj.v6i2.95>
- Aminsyah, M. (2013). Analisa Kehancuran Agregat Akibat Tumbukan Dalam Campuran Aspal. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 9(2), 50. <https://doi.org/10.25077/jrs.9.2.50-71.2013>
- Bumulo, N., & Rusnadin, N. W. (2018). Analisa Agregat Halus Pasir Zona III Dengan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Dan 40 mm Untuk Uji Kuat Tekan Mutu Beton Pada Campuran Beton Normal. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.32662/gojise.v1i1.136>
- Daudy, A., AR, S., & Gusrizal. (2023). Pengaruh Abu Cangkang Kopi pada Campuran Aspal Porous menggunakan Aspal Polymer sebagai Bahan Pengikat. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 6(1), 1-6.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2018. *Spesifikasi Umum*. Jakarta : Direktorat Bina Marga.
- Halimatus, S. (2022). *Analisa Pengaruh Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Laston Ac-Bc*. 2257, 1-9.
- Lebang, N. L. (2021). Analisa Stabilitas Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dan Karet Alam Sebagai Material Perkerasan Jalan. *JURNAL MANUMATA VOL 7, NO 2, 7(2)*, 140-146.
- Lewaherilla, N., Paulus, N., & Samponu, Y. (2024). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Analisa Komponen Bina Marga 1987 Dan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 Pada Ruas Jalan Ir. Soekarno Luran Kabupaten Kepulauan Tanimbar. *Jurnal Manumata*, 10(2), 140-152.
- M.T. Gunawan. (2013). Pengaruh Proses Pemanasan Pada Aspal. *Pengaruh Proses Pemanasan Pada Aspal*, 11(58).
- Mulyo, P., Maria, K., & Ridwan, M. (2023). Study Kasus Jalan Tarumanagara City. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3, 6088-6102. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/download/2312/2006/4211>
- Nisumanti, S., & Yusuf, M. (2020). Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Filler Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 8(2), 62-69. <https://doi.org/10.36982/jtg.v8i2.900>
- Rombot, P., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). Kajian Kinerja Campuran Beraspal Panas. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 190-197.
- Silvia Sukirman, (2008). Campuran Aspal Beton AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) (Sukirman S,2003). Aspal adalah bahan hidrikarbo yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna gelap biasanya berpenampilan hitam atau coklat tua, tahan terhadap air dan *visoelastis*
- Simatupang, R., & Ulfaturosida, N. D. (2019). Pengaruh Penggunaan PS Ball Sebagai Pengganti Pasir Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 36-59. <https://doi.org/10.28932/jts.v10i1.1382>
- Sulistianti, AR, S., & Miswar, K. (2020). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Dan Agregat Halus Endapan Abu Vulkanik Burni Telong Pada Campuran Laston AC-WC. *Jurnal Sipil Sains Terapan, September*.
- Utami, A., Sastra, M., & Zulkarnain, Z. (2020). Abu Kulit Pinang Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Ac-Bc. *Jurnal TeKLA*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i1.1431>
- Widyasanti, A., & Muharram, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Dan Praktik Pembuatan Sabun Cascara Kopi. *Sawala : Jurnal pengabdian Masyarakat Pembangunan Sosial, Desa dan Masyarakat*, 4(2), 54. <https://doi.org/10.24198/sawala.v4i2.46566>
- Zahra, K., Riris Hotma Roito Manalu, Rana Nabillah, & Putri Kemala Dewi. (2024). Analisis Dampak Pembangunan Infrastruktur Jalan terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kecamatan Medan Tembung. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(3), 1857-1866. <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i3.1070>

Efektifitas penggunaan batu gamping sebagai campuran agregat halus pada base A

Tri Sefrus^{a*}, Sazuatmo^a, Carles Pandu Wianata^b

^a Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin. SH

^b Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Prof. Dr. Hazairin. SH

Corresponding Author:

Email:

Keywords:

Aggregate, base A, fine aggregate, limestone, utilization effectiveness

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Enggano Island is one of the areas in Bengkulu Province, located directly on the border with the Indian Ocean, making Enggano Island one of the outermost small islands in Indonesia. This island is one of the geographical areas where the soil contains lime, where limestone or what is often known as limestone is a non-metallic industrial mineral which has benefits as a raw material for cement, aggregate and asphalt. Considering that this island is a small island, it is very difficult to find mountain stone or river stone for Base A aggregate needs, because limestone is abundant on this island, this has encouraged researchers to conduct research on limestone as an additional material for fine aggregate in Base A. Research This aims to determine the CBR value after using limestone at 0%, 10%, 20% and 30%. CBR testing is carried out using the California Bearing Ratio (CBR) test method using a CBR penetration tool. The results of this research show that base A aggregate mixed with 0% limestone produces a CBR value of 94.84%, mixing 10% produces a CBR value of 95.34%. The addition of 20% produces a CBR value of 95.96%, and mixing 30% produces a CBR value of 96.62%. These results indicate that the addition of a limestone mixture as fine aggregate in base A can be used because the CBR value is greater than 90% and with the composition determined in this research.

Copyright © 2025 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Pulau Enggano merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. Letaknya yang langsung berbatasan dengan Samudera Hindia menjadikan Pulau Enggano sebagai salah satu dari Pulau kecil terluar di Indonesia. Pulau Enggano juga memiliki berbagai kekayaan alam salah satunya adalah batu gamping atau kapur, batu kapur adalah batuan sedimen yang terusun dari kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk mineral kalsit. Batu kapur merupakan salah satu mineral industri yang banyak digunakan oleh sektor industri dan konstruksi (Budiman and Sukirman, 2018)

Poyek konstruksi adalah satu rangkaian kegiatan yang hanya satu kali dilaksanakan dan umumnya berjangka pendek. Dalam rangkaian kegiatan tersebut, ada suatu proses yang mengelola sumber daya proyek menjadi suatu hasil kegiatan yang berupa bangunan (Ervianto, 2005). Seiring berkembangnya suatu daerah atau kota maka semakin banyak pula pembangunan yang akan di lakukan salah satunya adalah jalan. Menurut Undang-Undang No. 38 Tahun (2008) tentang jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah atau serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel (Lampur, Harijono and Kuswara, 2021).

Komponen dari jalan raya salah satunya adalah Base A atau agregat kelas A. Agregat kelas A adalah campuran agregat dengan berbagai fraksi dan material yang digunakan untuk pondasi perkerasan aspal maupun perkerasan beton yang terletak pada lapis pondasi agregat kelas B (LPB) dan lapis permukaan atau lapis penutup (Publikasi *et al.*, 2024), Bahan base A itu sendiri adalah agregat kelas A yang diperoleh dari alam semula jadi setelah memprosesnya secara berkala menggunakan alat penghancur batu. Explorasi yang berlebih dari quarry untuk menghasilkan agregat kelas A tentu dapat merusak alam, karena batu-batu yang ada di sungai dan di gunung terus dikeruk untuk memenuhi kebutuhan dalam pengerjaan jalan (Fajri and Sazuatmo, 2021). Kualitas agregat yang baik dan harga bahan baku menjadi

bahan pertimbangan sebelum melakukan pembangunan jalan. Maka dari itu diperlukan jenis batuan alternatif yang berkualitas dan harga murah serta ketersediaannya di alam masih melimpah sebagai solusinya. Salah satu batu yang mungkin bisa dijadikan bahan tambahan pada *Base A* adalah batu gamping atau kapur.

Berdasarkan penjelasan di atas penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “Efektifitas Penggunaan Batu Gamping Sebagai Campuran Agregat Halus Pada *Base A*” Penelitian ini merupakan salah satu percobaan yang diharapkan dapat menjadi suatu inovasi baru sebagai bahan alternatif pengganti agregat halus. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *CBR* (*California Bearing Ratio*). untuk pengujian berat jenis, uji penyerapan, uji saringan dan uji keausan mengacu pada standar nasional Indonesia SNI tahun 2008.

2. DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan laboratorium yaitu metode *CBR* (*California Bearing Ratio*) Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *base A* dan batu gamping, dimana *base A* sebagai variable terikat, sedangkan batu gamping variable bebasnya. Penelitian ini adalah hasil pemrosesan data dari uji laboratorium, penelitian yang dimaksudkan di sini untuk memperoleh data primer. Pengujian-pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini antara lain pengujian berat jenis menggunakan (SNI, 1970, 2008) untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat, uji keausan dengan mesin *los angeles* menggunakan (SNI 2417-2008) untuk menentukan ketahanan agregat terhadap benturan dan gesekan, sehingga diketahui tingkat keausan agregat, uji saringan untuk mengetahui distribusi gradasi ukuran butiran agregat, dan pengujian *CBR* Laboratorium menggunakan (SNI 1744, 2012) untuk menentukan daya dukung tanah.

Penelitian ini akan mencoba dengan membandingkan suatu hubungan antar pencampuran batu gamping terhadap daya dukung pada *Base A*, pencampuran antara berat agregat halus pada *Base A* terhadap campuran batu gamping. persentase yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah 0%,10%,20%, dan 30%, dengan artian jika *Base A* yang akan digunakan sebanyak 10 kilogram, dengan agregat halus 4 kilogram, dan persen agregat halus batu gamping persentase 10%, maka batu gamping sebanyak 0,4 kilogram. Benda uji dari masing-masing perlakuan sebanyak 4 sampel, sehingga benda uji yang di siapkan sebanyak 20 benda uji. Setelah benda uji sudah di siapkan langkah selanjutnya akan di lakukan pengujian *CBR* test. Data pengujian inilah yang akan di olah nantinya sehingga dapat di simpulkan hasil dari penelitian yang sudah di lakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *CBR* dari material yang akan diuji. Nilai *CBR* inilah yang menjadi pembanding kenaikan atau penurunan dari penambahan agregat halus Batu Gamping. Pada dasarnya nilai *CBR* yang harus dipenuhi oleh suatu material agar dapat dijadikan *base A* adalah minimum 90% Berdasarkan spesifikasi umum (PUPR, 2018). Oleh karenanya pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari material yang akan digunakan seperti yang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan *CBR* untuk campuran 0%

No	Penetrasi	Nilai <i>CBR</i> (%)					Rata-rata (%)
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	
1	0,1	91.24	93.47	92.13	92.95	91.55	92.27
2	0,2	94.75	94.88	95.64	94.89	94.05	94.84

Nilai *CBR* yang digunakan adalah nilai *CBR* terbesar antara penetrasi 0,1 dan 0,2. Nilai penetrasi 0,2 lebih besar daripada penetrasi 0,1; sehingga yang digunakan sebagai angka *CBR* adalah nilai *CBR* pada penetrasi 0,2 yaitu 94,84. Nilai *CBR* ini memenuhi spesifikasi karena lebih besar dari 90% seperti yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan *CBR* untuk campuran 10%

No	Penetrasi	Nilai <i>CBR</i> (%)					Rata-rata (%)
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	
1	0,1	92.72	92.83	91.39	94.31	93.38	92.93
2	0,2	94.71	95.59	95.51	95.62	95.26	95.34

Setelah dilakukan pengujian dengan penambahan batu gamping sebanyak 10% diperoleh nilai *CBR* rata-rata sebesar 92,93% dan penetrasi 0,2 nilai *CBR* nya 95,34%. Keduanya lebih besar dari angka 90%, artinya memenuhi syarat untuk dijadikan *base A*, akan tetapi nilai yang digunakan adalah nilai terbesar yaitu penetrasi 0,2 sebesar 95,34% seperti yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan *CBR* untuk campuran 20%

No	Penetrasi	Nilai <i>CBR</i> (%)					Rata-rata (%)
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	
1	0,1	93.57	93.21	94.19	93.42	92.64	93.40
2	0,2	96.47	96.16	95.75	95.28	96.16	95.96

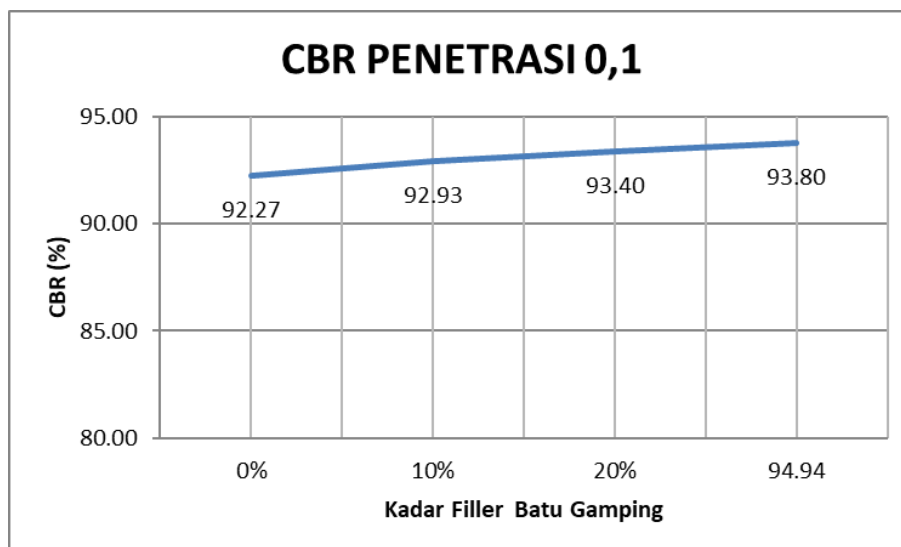
Setelah dilakukan pengujian dengan penambahan Batu Gamping sebanyak 20% diperoleh nilai *CBR* rata-rata 95,96% untuk penetrasi 0,1 dan 93,40% untuk penetrasi 0,2. Nilai *CBR* pada penetrasi 0,1 dan 0,2 telah memenuhi spesifikasi *CBR* yang disyaratkan untuk *base A* yaitu minimum 90%. Untuk nilai *CBR* yang digunakan adalah *CBR* pada penetrasi 0,2 sebesar 95,96% karena yang diambil adalah nilai terbesar seperti yang disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan *CBR* untuk campuran 30%

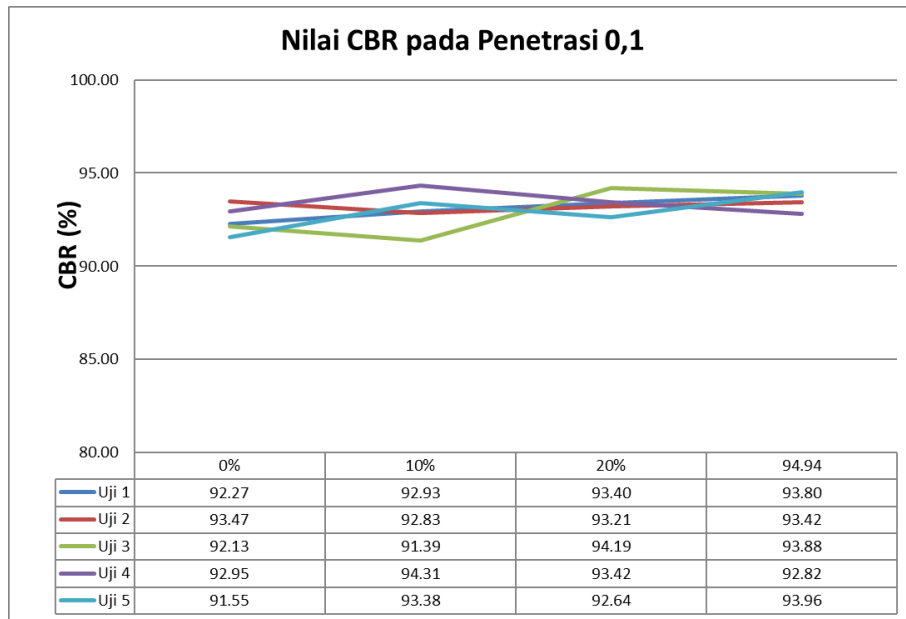
No	Penetrasi	Nilai <i>CBR</i> (%)					Rata-rata (%)
		Uji ke-1	Uji ke-2	Uji ke-3	Uji ke-4	Uji ke-5	
1	0,1	94.94	93.42	93.88	92.82	93.96	93.80
2	0,2	96.52	97.09	97.26	95.68	96.54	96.62

Nilai *CBR* setelah ditambahkan Batu Gamping sebagai agregat halus pada base a sebanyak 30% pada penetrasi 0,1 rata-rata sebesar 93,80%. Pada penetrasi 0,2 nilai *CBR* yang dihasilkan sebesar rata-rata 96,62%. Untuk nilai *CBR* yang digunakan adalah *CBR* pada penetrasi 0,2 sebesar 96,62% karena yang diambil adalah nilai terbesar. Keduanya lebih besar dari angka 90%, artinya memenuhi syarat untuk dijadikan *base A*, akan tetapi nilai yang digunakan adalah nilai terbesar yaitu penetrasi 0,2 sebesar 96,62%.

Pengujian *CBR* pada material base A dengan penambahan batu gamping sebagai agregat halus mendapatkan hasil yang bervariasi. Pada penetrasi 0,1 nilai *CBR* yang dihasilkan relative naik. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3 dan 4.4 Setelah di tambahkan batu gamping dengan variasi 0% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 92,27%, variasi 10% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 92,93%, variasi 20% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 93,40%, dan variasi 30% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 93,81%. Dari hasil ini menunjukkan bahwa penambahan campuran batu gamping sebagai agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% semuanya memenuhi syarat nilai *CBR* pada base A yaitu minimal 90% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

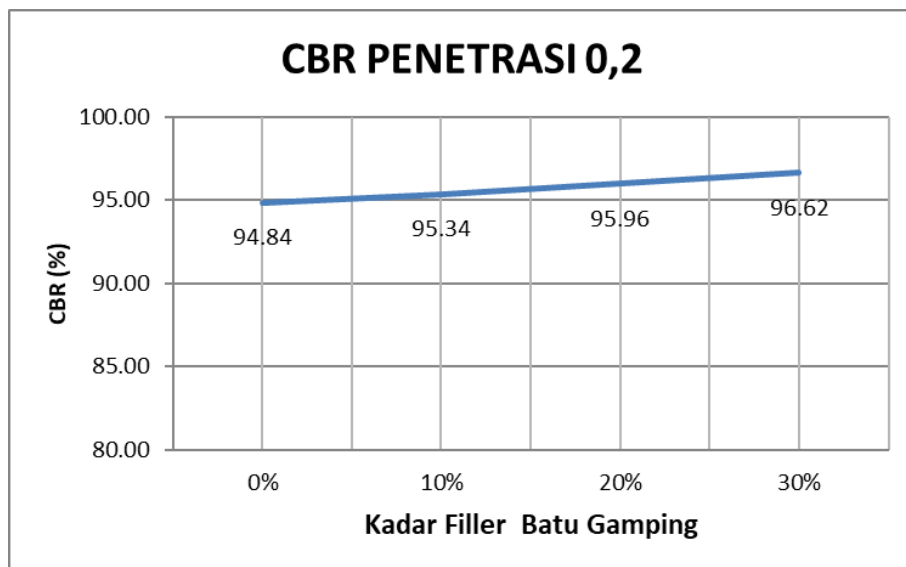


Gambar 1. Nilai *CBR* rata-rata pada penetrasi 0,1

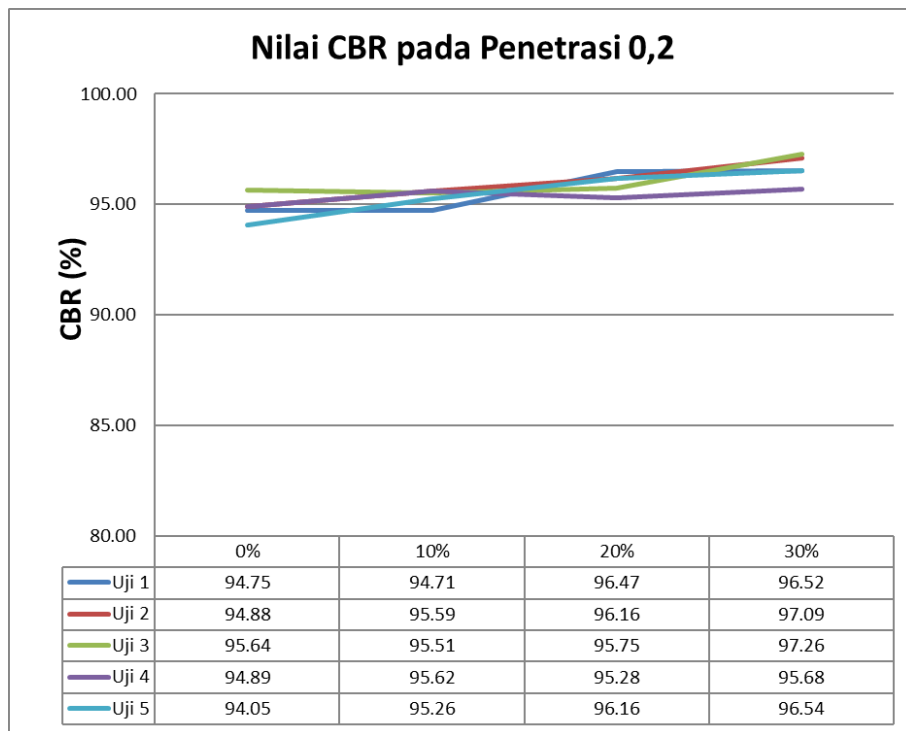


Gambar 2. Nilai *CBR* pada penetrasi 0,1

Pada penetrasi 0,2 nilai *CBR* yang dihasilkan terus meningkat tapi tidak terlalu signifikan Seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan 4.6 Untuk menentukan nilai *CBR* yang akan digunakan adalah nilai *CBR* terbesar diantara penetrasi 0,1 dan 0,2. Setelah ditambahkan batu gamping sebagai agregat halus dengan variasi 0% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 94,84%, variasi 10% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 95,34%, variasi 20% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 95,96%, dan variasi 30% nilai *CBR* yang dihasilkan rata-rata adalah 96,62% . Dari hasil ini menunjukan bahwa penambahan batu gamping dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30% semuanya memenuhi syarat nilai *CBR* pada *base A* yaitu minimal 90% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Nilai *CBR* rata-rata pada penetrasi 0,2



Gambar 4. Nilai CBR pada penetrasi 0,2

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari penelitian ini. Nilai CBR dari pengujian yang dilakukan penambahan campuran agregat halus batu gamping 0%, 10%, 20%, dan 30% nilai yang di dapat dari tambahan batu gamping (kapur) sebagai agregat halus pada perkerasan Base A dengan presentase 0% atau tanpa batu gamping adalah 94,84%, tambahan 10% adalah 95,34%, tambahan 20% adalah 95,96%, dan dengan tambahan 30% adalah 96,62%, maka dari itu hasil dari penelitian yang di dapatkan dengan tambahan 10%, 20%, dan 30% memiliki hasil daya dukung yang bagus dan dapat digunakan untuk perkerasan base A karena nilai CBR nya lebih besar dari 90%. Penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis penggunaan material lokal, khususnya di kabupaten Bengkulu Utara Kecamatan Enggano.

REFERENSI

- Andila, M.W. (no date) 'Kawasan Konservasi Terumbu Karang Dan Hutan Mangrove Di Pulau Enggano Provinsi Bengkulu', *Academia.Edu* [Preprint]. Available at: https://www.academia.edu/download/109766642/KAWASAN_KONSERVASI_TERUMBU_KARANG_DAN_HUTAN_MANGROVE_DI_PULAU_ENGGANO_PROVINSI_BENGKULU.pdf.
- Badan Standardisasi Nasional (2012) 'Metode uji CBR laboratorium', *Standar Nasional Indonesia, Badan Standarisasi Nasional*, pp. 1–28.
- Budiman, L. and Sukirman, S. (2018) 'Studi Penggunaan Batu Kapur Kalipucang sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Beton Aspal Jenis AC-BC (Hal. 45-55)', *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(1), p. 45. Available at: <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i1.45>.
- Ervianto (2005) 'Unsur-unsur Pelaksanaan Proyek Konstruksi', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 6–7.
- Fajri, A. and Sazuatmo, S. (2021) 'Pemanfaatan Limbah Tutup Botol Air Mineral Sebagai Filler Pada Lapis Perkerasan Base a', *Majalah Teknik Simes*, 15(2), p. 15. Available at: <https://doi.org/10.32663/simes.v15i2.2064>.
- Lampur, A., Harijono and Kuswara, K. mahendra (2021) 'Nalasis Kerusakan Jalan di ndajang desa lunggar terhadap arus lalu lintas mocok-ruteng kabupaten manggarai', *Jurnal Batakarang*, 2(1), pp. 1–10.
- Nasional, B.S. (2008) 'SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar', *Badan Standar Nasional Indonesia*, p. 20.
- Publikasi, K. et al. (2024) 'Analisis Kepadatan Lapisan Pondasi Agregat (LPA) Kelas A Dengan Menggunakan Metode Sand Cone Pembangunan Jalan Ruas Takkalasi – Bainange Lawo Di Kabupaten Soppeng Universitas Muhammadiyah Parepare , Indonesia air tanah yang paling tepat didalam membantu', 2(3).

- PUPR, K. (2018) 'Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1', *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, (September), pp. 1-199.
- SNI 2417-2008 (2008) 'Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.', *Badan Standardisasi Nasional*, pp. 1-20. Available at: https://imsippoliban.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/5368_sni-2417_2008.pdf.

© 2025, JPTS, ISSN 2654-4482. All rights reserved.



9 772654 448002