

**ANALISIS VARIASI SUHU RENDAMAN CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN
GRADASI FAA DAN BBA UNTUK PERKERASAN RUNWAY**
*Analysis of Soaking Temperature Variation of Asphalt Concrete Mixture using
FAA and BBA Gradations for Runway Pavement*

Anwar Efendy*, Intan Novianti*

***Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram
Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 1 Pagesangan, Mataram
Email : anwar.efendy@ummat.ac.id, intannovia2111@gmail.com**

Manuscript received: 26 Agustus 2025

Accepted: 30 September 2025

Abstrak

Landasan pacu (runway) adalah jalur pesawat untuk mendarat dan lepas landas. Kerusakan pada perkerasan runway, seperti deformasi yang dipicu oleh faktor cuaca panas dan hujan di Indonesia, menyebabkan permukaan mengelupas dan retak. Pemilihan agregat dan aspal sangat penting untuk menciptakan lapisan aspal beton yang fleksibel, tahan terhadap temperatur tinggi, dan stabilitas Marshall terjaga. Penelitian ini menggunakan gradasi FAA (Federal Aviation Administration) dengan KAO (Kadar Aspal Optimum) sebesar 5,13% dan gradasi BBA (Beton Bitumineux pour chaussées A'eronautiques) dengan KAO sebesar 6,10%. Variasi suhu rendaman dari 40°C hingga 60°C dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik campuran. Hasil menunjukkan suhu 40°C memberikan nilai tertinggi untuk karakteristik Marshall pada gradasi FAA, dengan stabilitas 2429,63 kg/mm, sedangkan gradasi BBA menghasilkan stabilitas 2153,21 kg/mm. Hanya pada gradasi FAA di suhu 60°C yang tidak memenuhi spesifikasi FAA dengan nilai flow 4,07 mm.

Kata kunci : Runway, Gradasi, FAA, BBA.

PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan prasarana dari moda transportasi udara. Moda transportasi udara saat ini menjadi salah satu alternatif pilihan moda transportasi untuk jarak yang jauh jika dibandingkan dengan moda transportasi laut dan darat. Namun biaya yang dikeluarkan jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan moda transportasi lainnya. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2023) pada bulan Januari - Desember tahun 2023 jumlah penumpang moda transportasi udara domestik sebanyak 62,7 juta orang atau naik 19,20 persen dibanding kondisi pada periode yang sama tahun lalu yang hanya sebanyak 52,6 juta orang. sebanyak 15,6 juta orang atau naik 120,07 persen dibanding jumlah penumpang pada periode yang sama tahun 2022.

Runway atau landasan pacu berfungsi sebagai tempat pesawat melakukan pendaratan dan lepas landas. Sistem *runway* terdiri atas perkerasan struktur, bahu landasan, bantal hembusan, serta daerah aman landas pacu. Pada bagian perkerasan strukturnya, umumnya digunakan perkerasan lentur (Efendy, 2019). Lapisan konstruksi perkerasan lentur salah satunya adalah aspal beton. Struktur agregat yang saling mengunci (*interlocking*) menjadi salah satu kekuatan untuk menghasilkan perkerasan beton aspal yang baik karena butiran agregat saling melekat bersama lapis tipis aspal (Baskara, 2019). Faktor cuaca di Indonesia yang memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan menjadi salah satu faktor kerusakan pada konstruksi lapis perkerasan *runway* (Efendy, 2019). Oleh karena itu, selain pemilihan agregat sebagai bahan pengisi dan aspal sebagai pengikat pemilihan gradasi agregat menjadi hal penting, sehingga lapisan aspal beton memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi, penempatan langsung di atas lapisan membuat lapisan ini tidak rentan terhadap kerusakan akibat

temperatur yang tinggi dan memiliki nilai stabilitas Marshall yang terkontrol (Sawaludin, 2018). Selain itu pengaruh suhu rendaman juga menjadi faktor penting dalam penelitian ini karena bertujuan untuk mengetahui daya tahan material akibat pengaruh kerusakan oleh air dan suhu, ikatan antar agregat melemah akibat berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat tersebut. Selain itu, suhu rendaman juga berpengaruh terhadap nilai stabilitas Marshall dari campuran aspal beton dimana suhu air yang digunakan untuk merendam sampel aspal beton bertujuan untuk mensimulasikan kondisi lingkungan tertentu yang akan dihadapi oleh perkerasan pada lapisan *runway*, seperti perubahan suhu ekstrim yang terjadi karena faktor cuaca atau iklim. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan memvariasikan suhu perendaman mulai dari suhu diatas normal hingga ekstrim yaitu suhu 40°C, 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C, dimana suhu rendaman yang berbeda digunakan untuk mengamati bagaimana variasi suhu mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanik dari campuran aspal beton tersebut. Oleh sebab itu pada penelitian ini akan menggunakan gradasi FAA (*Federal Aviation Administration*) dan BBA (*Beton Bitumineux pour chausées Aeronautiques*) pada perkerasan *runway* untuk mengetahui karakteristik Marshall dengan memvariasikan suhu rendaman sehingga mendapatkan variasi suhu yang efektif dalam proses perendaman pada campuran aspal beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan hasil pengujian perendaman yang dilakukan oleh (Efendy, 2025) diperoleh nilai stabilitas pada gradasi FAA dan BBA telah memenuhi standar spesifikasi dengan nilai stabilitas tertinggi berada didurasi perendaman 60 menit. Dimana nilai stabilitas pada gradasi FAA diperoleh nilai sebesar 1928,30 Kg dan gradasi BBA diperoleh nilai sebesar 1598,01 Kg, sedangkan nilai stabilitas terendah berada didurasi perendaman 180 menit. Kemudian dari nilai stabilitas didapatkan nilai durabilitas campuran pada gradasi FAA dan BBA sudah memenuhi standar, dimana pada perendaman 90 menit diperoleh nilai IKS tertinggi yaitu sebesar 98,97%.

Eniarti (2025) melakukan pengujian durabilitas mortar dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa mortar tanpa pozzolan, mortar dengan penggantian pozzolan serbuk batu apung, serta mortar dengan penggantian pozzolan serbuk batuan silika memiliki kuat tekan berturut-turut sebesar 16,60 MPa, 20,6 MPa, dan 23,16 MPa ketika diekspos pada lingkungan air laut, di mana nilainya paling rendah. Pada kondisi paparan larutan asam sulfat, kuat tekan yang diperoleh masing-masing sebesar 22,11 MPa, 25,47 MPa, dan 28,39 MPa. Sementara itu, mortar pada kondisi normal menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 23,45 MPa, 26,69 MPa, dan 29,09 MPa. Dari segi konsistensi normal, mortar dengan penggantian pozzolan menunjukkan peningkatan kebutuhan air hingga 6,22% serta waktu ikat (*setting time*) meningkat hingga 41,46%. Sebaliknya, untuk temperatur hidrasi, puncak suhu tertinggi terjadi pada pasta semen murni, yaitu mencapai 38°C.

METODE PENELITIAN

Penelitian analisis variasi suhu redaman pada campuran aspal beton menggunakan gradasi FAA dan BBA pada perkerasan *runway* merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pada penelitian ini akan melakukan variasi suhu perendaman mulai dari suhu normal hingga exterim dengan perbedaan 5°C selama 30 menit yaitu suhu 40°C, 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C.

Guna menentukan karakteristik Marshall dan variasi suhu rendaman yang efektif dilakukan pengujian Marshall dengan total 30 (tiga puluh) benda uji. Lima belas benda uji masing–masing untuk gradasi FAA dan BBA. Dari tiga puluh benda uji, masing–masing variasi suhu dibuat tiga benda uji agar memperoleh data yang lebih akurat. Adapun uraian pengujian yang dilaksanakan mengacu pada (SNI 06-2489-1991) dan perhitungan lebih lanjutnya mengacu pada (RSNI-M-01-2003) adalah sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan, tahapan persiapan disini mencakup persiapan dan pengecekan bahan dan alat yang akan digunakan nantinya pada proses penelitian, dan diharapkan tidak ada bahan dan alat yang kurang, karena akan mempengaruhi pada saat melakukan penelitian.
- b. Tahap uji material, Pada tahap pengujian material dalam penelitian ini, dilakukan pemeriksaan terhadap agregat kasar ukuran 3/4, agregat 3/8, abu batu, serta aspal penetrasi 60/70 yang telah diuji oleh AMP PT. Sinarbali Binakarya melalui analisis gradasi butiran dan pengujian karakteristik aspal. Jika hasil material memenuhi spesifikasi, langkah berikutnya adalah menguji berat jenis agregat, baik agregat halus, agregat kasar, maupun abu batu sesuai standar yang berlaku. Setelah seluruh persyaratan terpenuhi, tahap selanjutnya yaitu merancang campuran aspal beton untuk pembuatan benda uji.
- c. Tahapan pembuatan benda uji, meliputi pembuatan rancangan campuran kebutuhan agregat dengan menggunakan KAO yaitu 5,13% dan 6,10% dan batas tengah dari penelitian (Efendy, 2019). Adapun tahapan pembuatan benda uji ini berdasarkan RSNI M-01-2003.
- d. Proses perendaman, pada proses perendaman benda uji yang telah dipadatkan didiamkan terlebih dahulu kurang lebih 24 jam, kemudian benda uji direndam sampai terendam keseluruhannya di dalam *water bath* dengan durasi masing – masing 30 menit. Pada saat melakukan perendaman, ada 3 benda uji untuk masing-masing gradasi FAA dan BBA. Jadi total satu kali merendam ada 6 benda uji. Adapun Tabel kebutuhan benda uji Marshall test dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kebutuhan benda uji marshall pada gradasi FAA dan BBA

No	Pengujian Variasi Suhu Rendaman	Pengujian <i>Marshall</i> Standar					Jumlah Total Sampel
		40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
1	Gradasi FAA	3	3	3	3	3	15
2	Gradasi BBA	3	3	3	3	3	15
Total Kebutuhan Benda Uji		6	6	6	6	6	30

- e. Pengujian Marshall, pengujian ini dilakukan ketika telah selesai melakukan pengujian perendaman pada *water bath* adapun pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal.

Analisis terhadap hasil pengujian meliputi: analisis karakteristik dengan menggunakan alat Marshall dan pengujian perendaman dengan berbagai suhu pada *water bath*. Sehingga diperoleh hasil karakteristik Marshall dan variasi suhu rendaman yang efektif pada campuran aspal beton dengan mengacu pada spesifikasi FAA (*Federal Aviation Adiminstration*) dan Ditjen Perhubungan Udara di Indonesia (Efendy, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara garis besar hasil penelitian ini yaitu pemeriksaan karakteristik Marshall campuran dengan memvariasikan suhu perendaman. Pada penelitian ini terdapat 30 buah benda uji dimana masing-masing suhu di buat 3 buah benda uji. Namun pada saat pengujian perendaman pada *water bath* langsung diletakkan 6 buah benda uji meliputi 3 buah benda uji untuk gradasi FAA dan 3 buah benda uji untuk gradasi BBA namun tetap pada suhu yang sama.

Seperti penjelasan pada subbab metode dimana, pengujian yang dilakukan adalah pengujian Marshall terhadap variasi suhu rendaman sehingga akan diperoleh, stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *voids in mixture* (VIM), *voids in mineral aggregate* (VMA) dan *voids filled bitumen* (VFB), *Marshall qoutient* (MQ). Adapun analisis karakteristik campuran yang telah dilakukan maka diperoleh hasil campuran pada masing–masing gradasi baik FAA maupun BBA dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

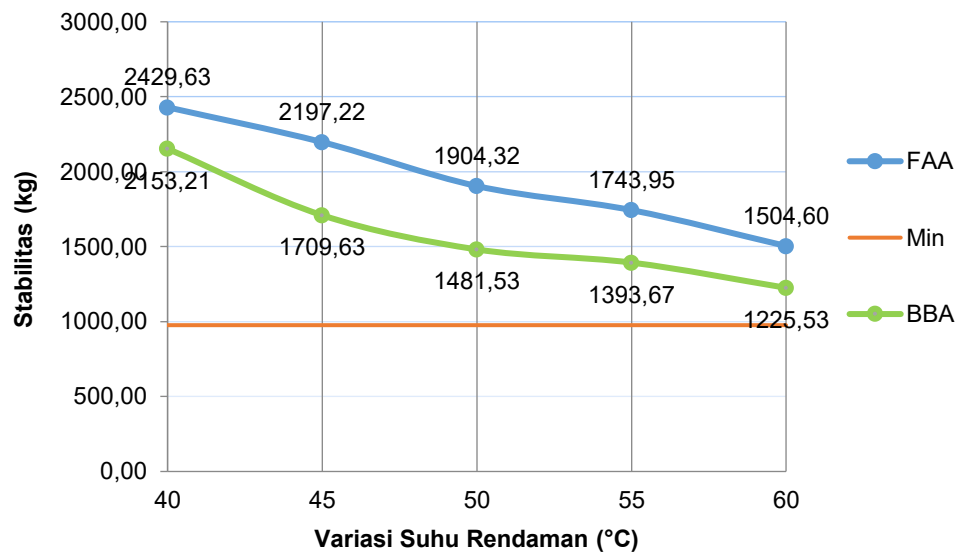
Tabel 2 Hasil Uji Gradasi FAA

Tabel 2 Hasil Uji Gradasi FAA							
No	Karakteristik Campuran	Gradasi FAA					Spesifikasi
		Variasi suhu Rendaman (°C)					
		40	45	50	55	60	
1	Stabilitas (kg)	2429,63	2197,22	1904,32	1743,95	1504,60	min.2150 lbs (976.1 kg)
2	Flow (mm)	3,48	3,68	3,83	3,74	3,95	2 - 4
3	VIM (%)	4,75	4,67	3,61	4,33	4,37	min 3,5
4	VMA (%)	19,85	19,78	18,89	19,50	19,53	≥ 15
5	VFB (%)	76,07	76,41	80,93	78,02	77,72	76 - 82
6	MQ (kg/mm)	699.83	596.71	497.21	467.54	380.87	≥ 250

Tabel 3 Hasil Uji Gradasi BBA

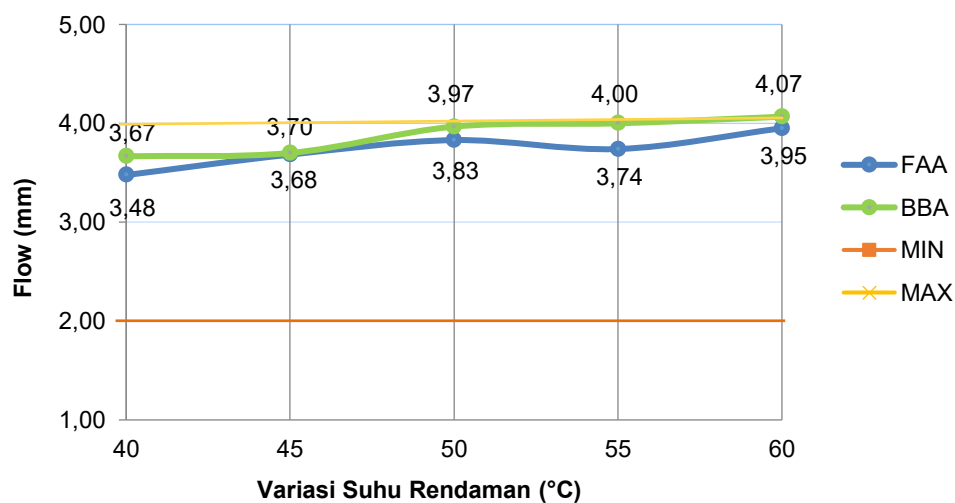
Gradasi FAA							
No	Karakteristik Campuran	Variasi suhu Rendaman (°C)					Spesifikasi
		40	45	50	55	60	
1	Stabilitas (kg)	2153,21	1709,63	1481,53	1393,67	1225,53	min.2150 lbs (976.1 kg)
2	Flow (mm)	3,67	3,70	3,97	4,00	4,07	2 - 4
3	VIM (%)	3,77	3,55	3,56	3,76	3,69	min 3,5
4	VMA (%)	19,75	19,57	19,58	19,75	19,69	≥ 15
5	VFB (%)	80,93	81,85	81,79	80,96	81,27	76 - 82
6	MQ (kg/mm)	600.36	471.43	373.79	348.52	301.57	≥ 250

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dilihat hasil analisis karakteristik campuran dengan variasi suhu rendaman dimana pada suhu 40°C nilai karakteristik Marshall memenuhi spesifikasi. Adapun pada suhu ini terdapat nilai tertinggi dari variasi suhu lainnya yaitu pada gradasi FAA dengan karakteristik campuran stabilitas dengan nilai 2429,63 kg, *Marshall Qoutient* 699,83 kg/mm, VIM 4,75% dan VMA 19,85% serta nilai terendah pada nilai *flow* sebesar 3,48 mm dan VFB 76,07%. Sedangkan pada gradasi BBA yaitu pada stabilitas dengan nilai 2153,21 kg, *Marshall Qoutient* 600,36 kg/mm, VIM 3,77% dan VMA 19,75% serta nilai terendah pada *flow* dengan nilai 3,67 mm dan VFB sebesar 80,93%. Adapun nilai yang tidak masuk persyaratan FAA dan Ditjen Perhubungan Udara adalah hanya pada gradasi FAA pada suhu 60°C dengan nilai *flow* 4,07 mm. Berikut hasil analisis pengujian karakteristik campuran dengan variasi suhu perendaman di sajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 6.



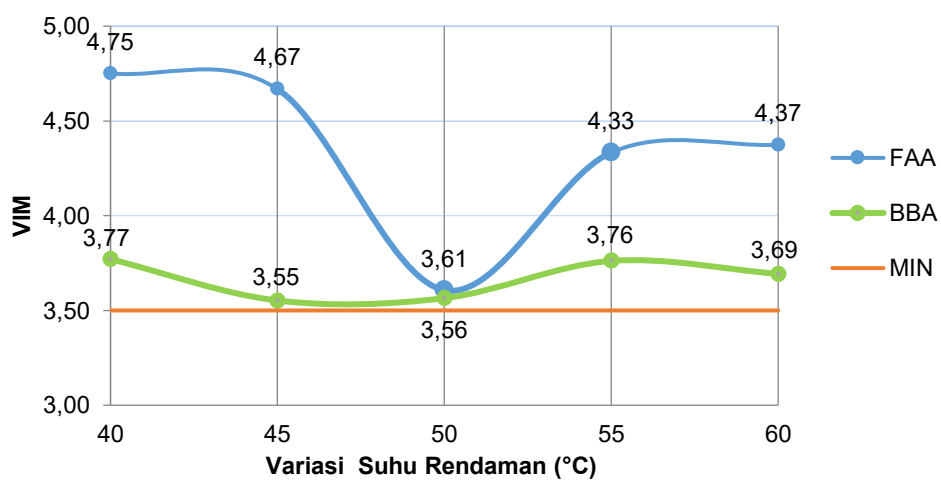
Gambar 1 Hubungan Stabilitas dengan Variasi Suhu Rendaman

Berdasarkan Gambar 1 secara keseluruhan nilai stabilitas baik gradasi FAA maupun BBA memenuhi standar spesifikasi persyaratan dari Federal Aviation Administration (FAA) yaitu minimal 2150 lbs atau 976,1 kg. Dapat dilihat bahwa pada suhu 40°C nilai stabilitas pada masing – masing gradasi baik FAA maupun BBA tertinggi, sehingga dapat disimpulkan berdasarkan grafik Semakin tinggi variasi suhu rendaman, Stabilitas Marshall semakin kecil dan sebaliknya hal ini disebabkan aspal tidak tahan terhadap variasi suhu yang tinggi (Fatmawati, 2013). Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan mudah retak saat menerima beban, sebaliknya jika nilai stabilitas rendah lapisan perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk (deformasi) akibat tidak mampu menahan beban. Sesuai dengan penelitian sebelumnya (Yani, 2023) peningkatan suhu akan sangat berpengaruh terhadap nilai stabilitas sehingga dapat mengetahui pertahanan perkerasan dalam menahan beban.



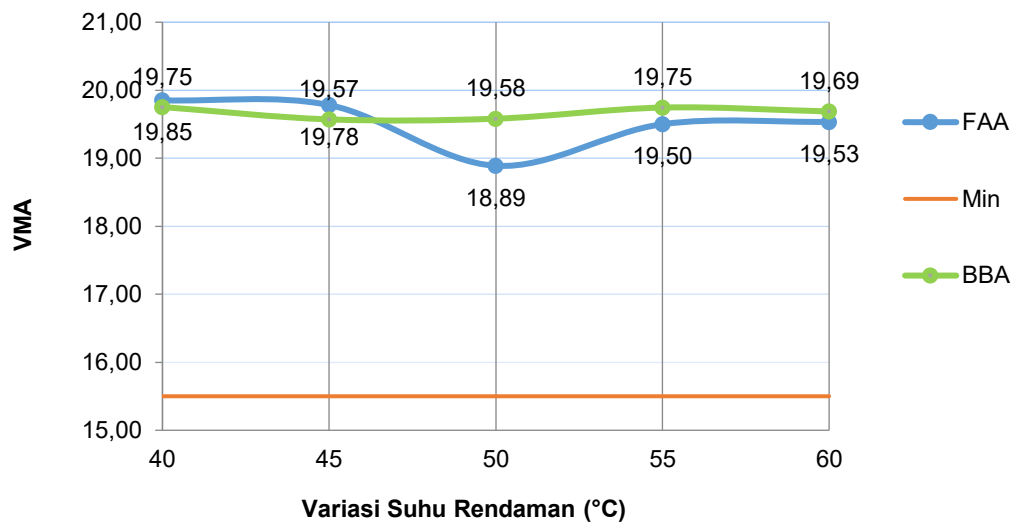
Gambar 2 Hubungan Flow dengan Variasi Suhu Rendaman

Berdasarkan Gambar 2 bahwa pada campuran dengan gradasi BBA tidak memenuhi spesifikasi hanya pada suhu 60°C yaitu sebesar 4,1 mm sedangkan FAA memiliki nilai yang memenuhi syarat dalam spesifikasi FAA yaitu 2 – 4 mm. Berdasarkan hubungan keelehan dengan variasi suhu perendaman dimana pada kadar aspal BBA dan FAA mengalami peningkatan keelehan seiring dengan penambahan variasi suhu perendaman yang diberikan. Hal ini disebabkan semakin tinggi variasi suhu maka nilai *flow* akan semakin tinggi hal ini karena suhu yang tinggi akan melelehkan aspal. Nilai *flow* yang tinggi menyebabkan lapisan perkerasan tersebut memiliki sifat plastis sehingga membuat lapisan perkerasan mampu menahan deformasi tanpa terjadi retak, sebaliknya jika nilai *flow* rendah lapisan perkerasan akan bersifat kaku dan getas sehingga saat menerima beban lalu lintas akan mudah retak. Nilai *flow* disini dapat dipengaruhi oleh proses penumbukan atau pemadatan dan cara pengambilan agregat.



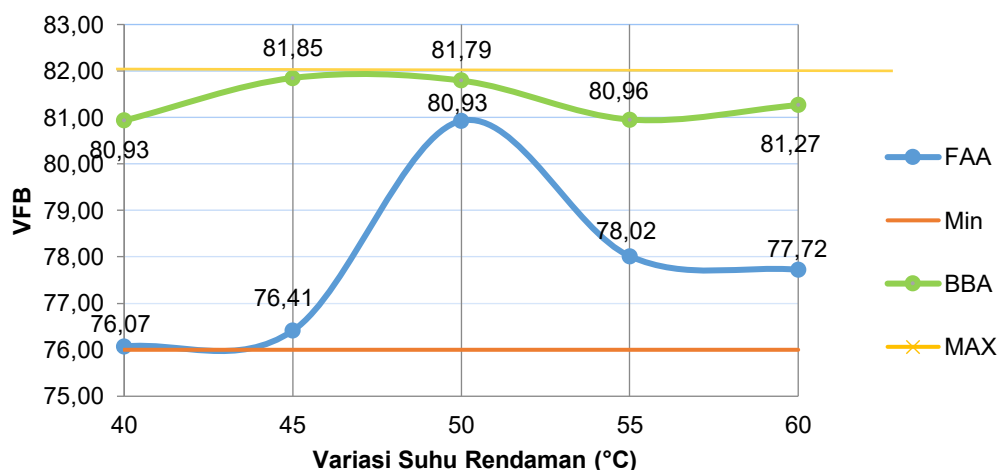
Gambar 3 Hubungan VIM dengan Variasi Suhu Rendaman

Berdasarkan Gambar 3 campuran dengan gradasi FAA dan BBA memiliki nilai yang memenuhi persyaratan dalam spesifikasi FAA yaitu Min 3.5 %. Dimana nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan kepadatan. Berdasarkan grafik pada gradasi FAA cenderung lebih tinggi daripada pada gradasi BBA, hal ini dikarenakan gradasi FAA lebih banyak agregat halus nya dibandingkan gradasi BBA, namun kadar aspalnya lebih tinggi BBA 6,10% dibandingkan FAA 5,13%, Oleh sebab itu pada saat pemadatan gradasi FAA lebih kering karena aspal telah menyerap pada agregat sedangkan BBA mengalami *bleeding* (cairan aspal yang meleleh keluar permukaan) dikarenakan perbandingan jumlah agregat halus lebih sedikit. Nilai VIM yang terlalu kecil akan menyebabkan terjadinya *bleeding* sebaliknya jika nilai VIM terlalu tinggi menandakan semakin banyak rongga dalam campuran sehingga dapat menyebabkan poros. Hal ini menyebabkan campuran kurang rapat sehingga kekedapannya berkurang, air dan udara mudah masuk. Apabila nilai VIM dibawah 3%, campuran cenderung rentan terhadap deformasi permanen sebaliknya jika nilai VIM diatas 5% campuran cenderung mengalami kerapuhan (*brittleness*), retak prematur (*premature cracking*) dan pengelupasan (*stripping*) (Nasution, 2024).



Gambar 4 Hubungan VMA dengan Variasi Suhu Rendaman

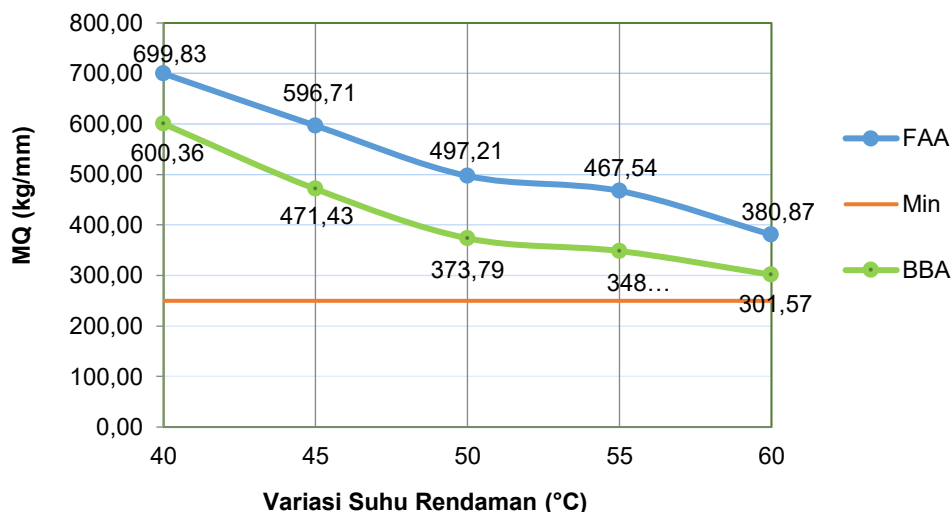
Berdasarkan Gambar 4 pada campuran dengan gradasi FAA maupun BBA memiliki nilai yang memenuhi syarat dalam spesifikasi FAA yaitu $\geq 15\%$. Nilai VMA dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kadar aspal, gradasi campuran, jumlah tumbukan, serta temperatur pemadatan. Pada gradasi FAA dan BBA, nilai VMA cenderung konstan pada setiap variasi suhu perendaman, namun gradasi FAA menunjukkan nilai lebih tinggi dibandingkan BBA. Perbedaan ini disebabkan kadar aspal pada gradasi FAA lebih rendah daripada BBA. Nilai VMA yang mendekati batas minimum menandakan campuran memiliki tingkat keawetan yang baik. Sebaliknya, nilai VMA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi berlebihan, sementara nilai yang terlalu rendah justru menunjukkan campuran kurang awet. Sedangkan jika nilai VMA terlalu besar, campuran beraspal cenderung mengalami deformasi permanen (Nasution, 2024).



Gambar 5 Hubungan VFB dengan Variasi Suhu Rendaman

Berdasarkan Gambar 5 pada gradasi FAA dan BBA memiliki nilai yang memenuhi syarat dalam spesifikasi FAA yaitu 76-82%. VFB menggambarkan perbandingan antara kadar aspal dengan volume rongga dalam campuran. Nilai VFB yang rendah menunjukkan bahwa aspal efektif yang mengisi rongga

antar butir agregat relatif sedikit, sehingga rongga udara dalam campuran cukup besar dan berakibat pada menurunnya daya tahan campuran. Sebaliknya akan menyebabkan bleeding jika nilai VFB terlalu tinggi karena rongga antar butiran yang terlalu kecil. apabila perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan mencari tempat yang kosong atau aspal akan naik ke permukaan sehingga terjadi kegemukan.



Gambar 6 Hubungan Marshall Qoutient dengan Variasi Suhu Rendaman

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa campuran gradasi FAA dan BBA memenuhi syarat spesifikasi yaitu nilai marshall qoutient ≥ 250 kg/mm. Campuran dengan nilai MQ rendah umumnya bersifat lebih fleksibel, plastis, dan lentur, sehingga mudah mengalami deformasi ketika mendapat beban lalu lintas. Sebaliknya, campuran dengan nilai MQ tinggi cenderung memiliki karakteristik yang lebih kaku dan kurang elastis. Nilai MQ tertinggi tercatat pada suhu 40°C pada masing – masing gradasi FAA dan BBA, yaitu 699,83 kg/mm dan 600,39 kg/mm, sedangkan nilai terendah terdapat pada suhu 60°C, yakni 380,87 kg/mm dan 301,57 kg/mm.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis pengujian, campuran aspal beton dengan gradasi FAA maupun BBA menunjukkan performa yang umumnya memenuhi standar spesifikasi yang berlaku. Setiap parameter Marshall, mulai dari stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), hingga *Void Filled with Bitumen* (VFB), memberikan gambaran mengenai kualitas campuran pada variasi suhu perendaman. Untuk memudahkan pemahaman, hasil utama penelitian dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Nilai Stabilitas kedua gradasi (FAA dan BBA) memenuhi standar FAA (≥ 2150 lbs / 976,1 kg) dan nilai tertinggi pada suhu 40°C: FAA = 2429,63 kg/mm, BBA = 2153,21 kg/mm.
2. Nilai Flow pada gradasi FAA memenuhi standar (2–4 mm) dan pada gradasi BBA juga memenuhi, kecuali pada suhu 60°C (4,07 mm, melebihi batas).

3. Nilai Marshall Quotient (MQ) kedua gradasi memenuhi standar FAA (≥ 250 kg/mm) dan nilai tertinggi pada suhu 40°C: FAA = 699,83 kg/mm, BBA = 600,36 kg/mm.
4. Nilai Void in Mix (VIM) untuk semua nilai FAA dan BBA memenuhi standar FAA ($\geq 3,5\%$) dan tertinggi pada suhu 40°C: FAA = 4,75%, BBA = 3,77%.
5. Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) pada gradasi FAA dan BBA memenuhi standar ($\geq 15\%$) dan tertinggi pada suhu 40°C: FAA = 19,85%, BBA = 19,75%.
6. Nilai Void Filled with Bitumen (VFB) pada gradasi FAA dan BBA memenuhi standar (76–82%) dan tertinggi: FAA pada 50°C (80,93%), BBA pada 45°C (81,85%).
7. Suhu perendaman efektif dan optimal adalah suhu 40°C untuk kedua gradasi (FAA dan BBA), karena pada suhu ini didapat nilai stabilitas, MQ, VIM, dan VMA tertinggi dengan flow dan VFB terendah.

Saran

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan dua jenis gradasi campuran (FAA dan BBA) dengan variasi suhu perendaman yang terbatas, sehingga hasilnya belum sepenuhnya mencerminkan kondisi ekstrem di lapangan. Selain itu, penelitian dilakukan di laboratorium sehingga belum menggambarkan kondisi nyata pada perkerasan runway yang dipengaruhi lalu lintas dan iklim. Untuk itu, penelitian selanjutnya disarankan menambah variasi gradasi dan rentang suhu perendaman yang lebih luas serta uji lapangan juga perlu dilakukan sebagai validasi hasil laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Perkembangan Transportasi Nasional September 2023*. Badan Pus. Stat., no. 85, pp. 1–8.
- Baskara, G. M. B. (2019). Perbandingan Karakteristik Marshall Gradasi BBA dan Gradasi FAA untuk Perkerasan Bandara dengan Memanfaatkan Agregat Buatan. *Warta Ardhia*, 45(1), 59-66. <http://www.wartaardhia.com/index.php/wartaardhia/article/view/340>.
- Bina Marga. (2023). RSNI-M- 01-2003: Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall, pp. 1–18.
- Efendy, A. (2019). Analisis Uji Ketahanan Deformasi (Creep) Campuran Aspal Beton Dengan Penggunaan Flyash Sebagai Agregat Buatan Geopolimer Untuk Perkerasan Surface Runway (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Efendy, A., & Ahjudanari, E. (2019). Analisis Perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Perbedaan Gradasi (BBA, FAA dan BM). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(1), 7-12. <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats/article/view/4706>.
- Efendy, A., Muttaqin, A., & Santika, Y. (2025). Analisis Durasi Perendaman Campuran Aspal Beton untuk Perkerasan Runway. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 5(1), 6948–6964. <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i1.18143>.
- Eniarti, M., Ngudiyono, N., Merdana, I. N., Sulistyowati, T., Rawiana, S., Natasya, R. D., & Maulana, O. (2025). Durabilitas Mortar Dengan Replacement Bahan Pozzolan Terhadap Lingkungan Agresif: Durability of Mortar with Replacement Pozzolan Material on the Agresive Environment. *Spektrum Sipil*, 12(1), 1-11. <https://spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/379>.
- Fatmawati, L. (2013). Karakteristik Marshall Dalam Aspal Campuran Panas AC-WC Terhadap Variasi Temperatur Perendaman. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 18(2).
- Nasution, D. W., Muis, Z. A., Sari, A., & Putra, A. (2024). Lateks KKK60 Pravulkanisasi sebagai Modifier Campuran Aspal (AC-WC). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 22(1), 1-6. <https://iptek.its.ac.id/index.php/jats/article/view/12492>.
- Sawaludin, A., Syafarudin, A. S., & Mayuni, S. (2018). Evaluasi Kerusakan Jalan Pada Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Binamarga (Studi Kasus Ruas Jalan Desa Kapur). *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, Dan Tambang*, 5(1), 1-9. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/24430/75676576041>.

SNI 06-2489-1991, "Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall," Badan Stand. Nas., no. 1, p. 7, 1991.

Yani, L., Rahmaniah, R., & Asriani, A. (2023). Analisis variasi suhu 150° C, 160° C, 170° C dalam variasi jumlah tumbukan terhadap spesifikasi Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 17(2), 220-225.