

Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Volume 4, Nomor 8, September, P. 15-31
E-ISSN: 2986-6340
Licensed by CC BY-SA 4.0
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22264426>

Komposisi Optimum Campuran Lapisan Aus (Ac-Wc) Dengan Aspal Pg 70 Untuk Perkerasan *Taxiway* Bandara Udara Terhadap Stabilitas Marshall Dan Stabilitas Sisa

Anelca Juan Ferdian Susanto¹, Irfan Zhain², Yogie Risdianto³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan material aspal sebagai bahan pengikat untuk menerima dan meneruskan beban menuju tanah dasar. Pada *taxiway*, perkerasan harus mampu menahan beban pesawat berulang serta pengaruh air dan temperatur. Penelitian ini menggunakan campuran AC-WC dengan aspal PG 70 untuk mengevaluasi karakteristiknya terhadap kebutuhan perkerasan *taxiway* bandar udara. Metode penelitian menggunakan kuantitatif eksperimental di laboratorium dengan melakukan pengujian terhadap material dan benda uji campuran AC – WC. Pengujian meliputi analisis saringan agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, pemeriksaan sifat fisis agregat dan aspal PG 70, serta pengujian Marshall untuk menentukan karakteristik campuran. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, dan 6,0%, kemudian ditentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan parameter Marshall dan persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026. Berdasarkan hasil pengujian, kadar aspal 5,5%–6,0% memenuhi persyaratan VIM sehingga diperoleh KAO sebesar 5,75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada KAO 5,75%, campuran AC-WC dengan aspal PG 70 memiliki stabilitas normal sebesar 1.714,3 kg dan flow 2,97 mm, sehingga memenuhi persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026. Pada kondisi stabilitas sisa, stabilitas menurun menjadi 1.598,9 kg dengan flow meningkat menjadi 3,55 mm, sedangkan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 93,27% menunjukkan kemampuan campuran mempertahankan kekuatannya setelah pengaruh air dan temperatur tinggi. Pada kondisi kepadatan mutlak, stabilitas meningkat menjadi 2.303,3 kg dan flow menjadi 3,62 mm akibat pemadatan maksimum yang meningkatkan kerapatan serta *aggregate interlocking*.

Kata Kunci: AC – WC, Aspal PG 70, *Taxiway*, Stabilitas Sisa, Kepadatan Mutlak.

Abstract

This flexible pavement uses asphalt as a binder to absorb and transfer loads to the subgrade. On taxiways, the pavement must be able to withstand repeated aircraft loads as well as the effects of water and temperature. This study used an AC-WC mixture with PG 70 asphalt to evaluate its characteristics in relation to the requirements for airport taxiway pavements. The research method employed a quantitative experimental approach in the laboratory, involving testing of the AC-WC mixture materials and test specimens. The testing included aggregate sieve analysis, specific gravity and water absorption measurements of the aggregates, examination of the physical properties of the aggregates and PG 70 asphalt, as well as Marshall testing to determine the mixture's characteristics. The asphalt content variations tested were 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, and 6.0%; the Optimum Asphalt Content (OAC) was then determined based on Marshall parameters and the requirements of KP DJPU 74 of 2026. Based on the test results, asphalt contents of 5.5%–6.0% met the VIM requirements, resulting in an OAC of 5.75%. The research results show that at an OAS of 5.75%, the AC-WC mixture with PG 70 asphalt has a normal stability of 1,714.3 kg and a flow of 2.97 mm, thereby meeting the requirements of KP DJPU 74 of 2026. Under residual stability conditions, stability decreased to 1,598.9 kg with flow increasing to 3.55 mm, while the Residual Strength Index (IKS) value of 93.27% indicates the mixture's ability to retain its strength after exposure to water and high temperatures. Under absolute density conditions, stability increased to 2,303.3 kg and flow to 3.62 mm due to maximum compaction, which improved density and aggregate interlocking.

Keywords: AC–WC, PG 70 Asphalt, *Taxiway*, Residual Stability, Absolute Density

Article Info

Received date: 20 August 2026

Revised date: 28 August 2026

Accepted date: 1 September 2026

PENDAHULUAN

Bandara udara adalah salah satu sarana transportasi udara di Indonesia yang berfungsi sebagai pusat perpindahan pesawat penumpang, kargo, hingga pesawat barang. Peningkatan ini secara langsung memberikan pengaruh besar untuk infrastruktur bandara, khususnya sisi udara yang ada pada bandara udara yang terdiri dari landasan pacu (*runway*), jalur penghubung (*taxiway*), serta tempat parkir pesawat (*apron*) yang memerlukan pengelolaan cermat untuk menjamin keamanan dan efisiensi operasional

karena pada bagian tersebut merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan aktifitas bandara dimana harus memenuhi standar yang sudah ditentukan bandara udara, harus dilakukan analisis secara berkala pada kekuatannya agar dapat memastikan bahwa fasilitas sisi udara bandara mampu menahan beban pesawat pada saat melayani pertumbuhan lalu lintas udara dari tipe pesawat yang lebih besar (Paramahansa & Sari, 2022).

Menurut Tito Yusmar, 2014. Industri Penerbangan dalam negeri saat ini semakin berkembang. Semakin banyak perkembangan pada perusahaan jasa angkutan udara yang melakukan peningkatan armada pesawat dengan melakukan pembelian beberapa tipe pesawat yang terbaru yang dipergunakan sebagai transportasi udara di Indonesia. Adapun beban pesawat dibedakan menjadi dua golongan menurut Peraturan Jenderal Perhubungan Udara KP 39 Tahun 2015 yaitu pesawat yang memiliki beban kurang dari 100.000 lbs (45.500kg) atau lebih dari 100.000 lbs (45.500kg).

Taxiway sendiri merupakan jalur yang berfungsi untuk menghubungkan antara *Apron* dan Landasan Pacu (*runway*), Keberadaan *taxiway* sangatlah penting karena dengan adanya *taxiway*, pesawat dapat *berjalan* dari *runway* menuju *apron* dengan aman tanpa mengganggu kegiatan pesawat lain (Seto dkk 2023).

Pada bandara udara terdapat beberapa jenis perkerasan, yaitu perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), dan perkerasan komposit. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan bersifat elastis pada saat menerima beban. Struktur lapisan perkerasan ini tersusun atas lapis permukaan yang meliputi lapis aus (*Wearing Course*), lapis antara (*Binder Course*), lapis pondasi atas (*Base Course*), lapis pondasi bawah (*Subbase Course*). Dan yang terakhir tanah dasar (*Subgrade*) yang masing-masing memiliki fungsi untuk menahan serta menyalurkan beban pesawat secara bertahap hingga ke tanah dasar (Cevino dkk).

Perkerasan bandara, berbeda dengan perkerasan jalan raya, dirancang sebagai sistem rekayasa kompleks yang harus menahan beban dinamis yang sangat terkonsentrasi dari pesawat selama periode desain tertentu.

Perkerasan pada bandara udara sendiri pada lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) ini memiliki beberapa lapisan yang terstruktur di dalamnya salah satunya yaitu yang digunakan dalam penelitian ini lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

Dalam konteks perkerasan *flexible* untuk *taxiway*, salah satu lapisan aus yang umum digunakan adalah campuran aspal beton berupa AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) karena memiliki kelenturan serta kemampuannya menahan beban berat pada kondisi pemakaian intensif. Lapis *Asphalt Concrete – Wearing Course* pada perkerasan *taxiway* sisi bandara menghadapi tantangan yang kompleks akibat kombinasi beban lalu lintas pesawat yang berat dan faktor cuaca ekstrem, serta kehadiran air menuntut pada lapisan campuran AC – WC lebih teliti daripada jalan raya biasa (Sadikin dkk 2024).

Penggunaan aspal modifikasi PG 70 dilakukan pada penelitian ini sebagai bahan campuran benda uji. Karena aspal modifikasi PG 70 merupakan teknologi yang digunakan untuk meningkatkan kinerja dari suatu campuran aspal yang dibuat dengan mencampur aspal dengan bahan lain terutamanya pada sisi bandara udara yang dimana perkerasan jalan tersebut harus memiliki daya tahan yang tinggi untuk menahan beban pesawat yang melintas (Tosi dkk 2023)

Meskipun begitu, sebagian besar standar desain perkerasan bandara udara masih mengadaptasi metode perkerasan kaku atau metode tipikal yang kurang fokus pada lapisan aus di *taxiway* yang menggunakan AC – WC. Pada tren global dalam desain dan evaluasi perkerasan bandara menunjukkan pergeseran signifikan menuju pendekatan yang lebih mekanistik atau yang dapat diistilahkan sebagai “Metode Perkerasan Mutlak” (*absolute pavement method*) yang menggabungkan aspek desain secara komprehensif.

Dalam hal ini menimbulkan *research gap* karena sebelumnya terdapat sedikit studi yang secara spesifik meneliti tentang lapisan aus AC – WC pada *taxiway* bandara menggunakan metode perkerasan mutlak, serta kondisi operasi *taxiway* berbeda dengan *runway* yang memang belum banyak dikaji. Adapun penggunaan data operasional dan geoteknik lokal untuk bandara di Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu penelitian ini berjudul “Komposisi Optimum Campuran Lapisan Aus (AC-WC) Dengan Aspal *Performance Grade* (PG 70) Untuk Perkerasan *Taxiway* Bandara Udara Terhadap Stabilitas Marshall Dan Stabilitas Sisa.”

Urgensi penelitian ini sangat tinggi karena mengingat dampak yang signifikan terhadap keberlanjutan operasional bandara udara yang sering mengalami kerusakan pada sisi udara *taxiway*

bandar udara. Penelitian ini juga memastikan bahwa perkerasan *taxiway* pada bandara yang ada di Indonesia tidak hanya dirancang berdasarkan parameter awal, tetapi juga mempertimbangkan faktor beban berulang, lingkungan, serta umur layan. Dengan menggabungkan desain dari perkerasan mutlak yang mengacu pada *American Society for Testing and Materials* (ASTM) / Direktorat jenderal perhubungan udara serta mengevaluasi campuran melalui adanya uji laboratorium, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi teknis yang lebih akurat dan berkelanjutan. Meskipun sering dianggap sebagai elemen “sekunder” dibandingkan *runway*, kerusakan pada *taxiway* dapat menyebabkan efek yang serius pada bandara meliputi penundaan penerbangan, peningkatan biaya pemeliharaan, dan risiko terhadap keselamatan penerbangan pada bandara udara. Oleh karena itu, optimalisasi desain lapisan aus *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC – WC) pada *taxiway* ini termasuk penting.

Penelitian ini dapat menambah wawasan pada bidang rekayasa perkerasan bandara di Indonesia, serta hasil penelitian ini juga berpotensi memberikan kontribusi ilmiah dan praktis pada rekayasa perkerasan bandara sekaligus mendukung keselamatan serta efisiensi operasional bandar udara pada bidang angkutan udara di Indonesia, khususnya untuk lapisan aus menggunakan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC – WC), dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk standar desain perkerasan *taxiway* sisi udara pada bandar udara yang lebih efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium. Penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) menggunakan aspal Performance Grade 70 (PG 70). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jalan dan Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, pada Desember 2025 sampai Juni 2026.

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi agregat kasar, agregat halus, filler berupa abu batu, dan aspal PG 70. Agregat diperoleh dari PT Bumindo Sakti, sedangkan aspal PG 70 diperoleh dari PT Aspindo Group dengan produk Shell Chairpalt PG 70. Sebelum digunakan, seluruh bahan terlebih dahulu diuji untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya serta memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang berlaku.

Perencanaan campuran AC-WC dilakukan dengan menggunakan gradasi menerus. Proporsi agregat ditentukan berdasarkan hasil analisis saringan dan dilakukan penyesuaian hingga memenuhi batas gradasi yang dipersyaratkan. Selanjutnya, ditentukan kadar aspal acuan dan dibuat lima variasi kadar aspal dengan interval 0,5%. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga benda uji, sehingga diperoleh 15 benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Benda uji dibuat dengan berat campuran sekitar 1.200 gram. Agregat dikeringkan dan dipanaskan, kemudian dicampur dengan aspal pada temperatur yang sesuai. Campuran dimasukkan ke dalam cetakan Marshall dan dipadatkan sebanyak 75 tumbukan pada setiap sisi. Setelah pemadatan, benda uji dibiarkan selama kurang lebih 24 jam sebelum dilakukan pengujian.

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VIM, VMA, dan VFA. Benda uji direndam dalam water bath pada suhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 30–40 menit, kemudian diberikan pembebanan hingga diperoleh beban maksimum dan nilai deformasi.

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dari lima variasi kadar aspal, ditentukan kadar aspal yang memenuhi seluruh persyaratan spesifikasi. Kadar aspal tersebut digunakan sebagai KAO. Selanjutnya dibuat 15 benda uji tambahan pada kondisi KAO untuk pengujian Marshall, stabilitas sisa, dan kepadatan mutlak.

Pengujian stabilitas sisa dilakukan dengan merendam benda uji pada suhu 60°C selama 24 jam, kemudian dilakukan pengujian Marshall. Hasil seluruh pengujian dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkannya terhadap spesifikasi yang digunakan. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC menggunakan aspal PG 70 serta tingkat pemenuhan persyaratan teknis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Material yang digunakan dalam penelitian berasal dari PT. Bumindo Sakti, Gresik, dan terdiri atas agregat kasar fraksi 5–10 mm dan 10–15 mm, agregat halus fraksi 0–5 mm, serta filler. Pengujian karakteristik agregat mengacu pada KP DJPU 74 Tahun 2026.

Hasil pengujian agregat kasar menunjukkan nilai abrasi Los Angeles sebesar 16,40%, gumpalan lempung sebesar 0,25%, bidang pecah sebesar 100%, serta partikel pipih dan lonjong sebesar 5,13%. Hasil tersebut memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam pedoman, sehingga agregat kasar dinyatakan layak digunakan dalam campuran AC-WC. Sementara itu, agregat halus memiliki material lolos saringan No. 200 sebesar 4,53% dan kandungan lempung sebesar 0,14%, yang juga memenuhi persyaratan. Pengujian berat jenis agregat dilakukan sebagai dasar perhitungan volumetrik campuran dan tidak memiliki batas persyaratan khusus dalam pedoman.

Aspal PG 70 yang digunakan memiliki penetrasi 55,7 (0,1 mm), titik lembek 84°C, daktilitas 140 cm, titik nyala 325,5°C, dan berat jenis 1,035. Hasil tersebut menunjukkan bahwa material aspal dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran AC-WC.

Analisis Gradasi dan Penentuan Design Mixed Formula

Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa agregat fraksi 0–5 mm, 5–10 mm, dan 10–15 mm memiliki modulus kehalusan masing-masing sebesar 3,65; 6,41; dan 7,66. Ketiga fraksi tersebut kemudian dikombinasikan untuk memperoleh gradasi campuran AC-WC yang sesuai dengan rentang gradasi dalam KP DJPU 74 Tahun 2026.

Dua alternatif trial gradasi digunakan, yaitu Trial 1 dengan komposisi agregat 10–15 mm sebesar 32%, 5–10 mm sebesar 31%, 0–5 mm sebesar 36%, dan filler 1%; serta Trial 2 dengan komposisi masing-masing 34%, 28%, 36%, dan 2%. Hasil pengujian Marshall awal menunjukkan bahwa Trial 2 menghasilkan stabilitas 1.007,3 kg, VMA 19,76%, dan VIM 9,04%. Meskipun nilai flow dan VIM belum memenuhi persyaratan, Trial 2 dipilih sebagai Design Mixed Formula (DMF) karena memberikan kombinasi gradasi dan karakteristik campuran yang lebih sesuai untuk selanjutnya dioptimalkan melalui variasi kadar aspal.

Dengan demikian, komposisi DMF yang digunakan adalah 34% agregat fraksi 10–15 mm, 28% agregat fraksi 5–10 mm, 36% agregat fraksi 0–5 mm, dan 2% filler.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan perhitungan kadar aspal rencana, diperoleh nilai Pb sebesar 5,0%. Selanjutnya dibuat variasi kadar aspal sebesar 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5%; dan 6,0% untuk menentukan kadar aspal optimum berdasarkan parameter Marshall.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas meningkat dari 1.169,4 kg pada kadar aspal 4,0% hingga mencapai nilai maksimum 1.439,0 kg pada kadar 5,5%, kemudian menurun menjadi 1.318,8 kg pada kadar 6,0%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan aspal hingga kadar tertentu meningkatkan ikatan antarpartikel agregat, tetapi penambahan aspal berlebih dapat menurunkan stabilitas campuran.

Nilai flow menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, yaitu dari 1,67 mm pada kadar 4,0% menjadi 3,90 mm pada kadar 6,0%. Berdasarkan rentang persyaratan 2–4 mm, kadar aspal yang memenuhi parameter flow adalah 5,0%, 5,5%, dan 6,0%.

Nilai VIM mengalami penurunan dari 6,89% pada kadar 4,0% menjadi 3,77% pada kadar 6,0%. Berdasarkan persyaratan 3,3–4%, kadar aspal 5,5% dan 6,0% memenuhi persyaratan, dengan nilai VIM masing-masing sebesar 3,86% dan 3,77%. Sementara itu, nilai VMA pada seluruh variasi berada di atas persyaratan minimum 15%, dengan rentang 15,89–17,43%.

Nilai VFB meningkat dari 56,75% pada kadar aspal 4,0% menjadi 78,38% pada kadar 6,0%, yang menunjukkan semakin banyak rongga antar agregat yang terisi oleh aspal seiring peningkatan kadar aspal. Parameter VFB dan MQ tidak memiliki batas persyaratan khusus dalam pedoman yang digunakan. Nilai MQ menurun dari 704,4 kg/mm menjadi 338,3 kg/mm, menunjukkan bahwa peningkatan kadar aspal cenderung menurunkan kekakuan campuran dan meningkatkan sifat fleksibilitasnya.

Berdasarkan keterpenuhan parameter utama stabilitas, flow, VIM, dan VMA, kadar aspal 5,5% dipilih sebagai kadar aspal optimum (KAO). Pada kadar tersebut diperoleh stabilitas 1.439,0 kg, flow 3,30 mm, VIM 3,86%, dan VMA 16,46%, sehingga seluruh parameter utama memenuhi persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026.

Pembahasan Kinerja Campuran pada KAO

Pada KAO sebesar 5,5%, campuran AC-WC menunjukkan keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan karakteristik volumetrik. Stabilitas sebesar 1.439,0 kg menunjukkan kemampuan campuran dalam menerima beban, sedangkan flow sebesar 3,30 mm menunjukkan campuran masih memiliki fleksibilitas yang memadai. Nilai VIM sebesar 3,86% menunjukkan rongga udara berada dalam rentang yang dipersyaratkan, sedangkan VMA sebesar 16,46% menunjukkan tersedianya ruang yang cukup untuk menampung aspal dalam campuran.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi agregat 34% fraksi 10–15 mm, 28% fraksi 5–10 mm, 36% fraksi 0–5 mm, dan 2% filler, dengan kadar aspal 5,5%, menghasilkan karakteristik campuran AC-WC yang memenuhi persyaratan utama dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja perkerasan taxiway.

Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan berdasarkan hasil pengujian parameter Marshall pada campuran AC-WC menggunakan aspal PG-70 dengan variasi kadar aspal 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5%; dan 6,0%. Parameter yang digunakan dalam penentuan rentang KAO meliputi stabilitas, flow, VIM, dan VMA sesuai persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026. Parameter density, Marshall Quotient (MQ), dan VFB tidak dipersyaratkan dalam pedoman tersebut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi kadar aspal memenuhi persyaratan stabilitas minimum sebesar 980 kg dan flow pada rentang 2–4 mm. Nilai VMA seluruh variasi juga memenuhi persyaratan minimum 15%. Namun, pada parameter VIM, hanya kadar aspal 5,5% dan 6,0% yang berada dalam rentang persyaratan 3,3–4,0%. Dengan demikian, rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter persyaratan adalah 5,5–6,0%.

KAO ditentukan berdasarkan nilai tengah dari batas minimum dan maksimum kadar aspal yang memenuhi persyaratan, sehingga diperoleh:

$$\text{KAO} = (5,5\% + 6,0\%) / 2 = 5,75\%$$

Berdasarkan hasil tersebut, kadar aspal optimum campuran AC-WC dengan aspal PG-70 untuk perkerasan sisi udara taxiway adalah 5,75%.

Karakteristik Marshall pada KAO

Setelah diperoleh KAO sebesar 5,75%, dilakukan pengujian Marshall pada tiga kondisi, yaitu stabilitas normal, stabilitas sisa, dan kepadatan mutlak. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel berikut.

Parameter	Stabilitas Normal	Stabilitas Sisa	Kepadatan Mutlak	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	1.714,3	1.598,9	2.303,3	Min. 980
Flow (mm)	2,97	3,55	3,62	2–4
Kepadatan (gr/cc)	2,34	2,31	2,392	-
MQ (kg/mm)	577,80	396,5	678,0	-
VIM (%)	3,86	3,92	3,21	3,3–4
VMA (%)	18,10	19,16	16,41	Min. 15
VFB (%)	78,65	79,44	80,47	-

Pada kondisi stabilitas normal, campuran dengan kadar aspal 5,75% menghasilkan stabilitas sebesar 1.714,3 kg, flow 2,97 mm, VIM 3,86%, dan VMA 18,10%. Seluruh parameter yang dipersyaratkan memenuhi ketentuan KP DJPU 74 Tahun 2026. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran pada kadar aspal optimum memiliki karakteristik kekuatan dan volumetrik yang memenuhi persyaratan.

Pada pengujian stabilitas sisa, nilai stabilitas setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60 °C sebesar 1.598,9 kg, sedangkan stabilitas normal sebesar 1.714,3 kg. Nilai tersebut menunjukkan adanya penurunan stabilitas sebesar 115,4 kg setelah mengalami pengondisian perendaman. Berdasarkan perhitungan indeks kekuatan sisa (IKS), diperoleh:

$$\text{IKS} = (1.598,9 / 1.714,3) \times 100\% = 93,27\%$$

Nilai IKS sebesar 93,27% menunjukkan bahwa campuran masih mampu mempertahankan sebagian besar kekuatannya setelah mengalami perendaman. Nilai tersebut juga berada di atas batas 90% yang digunakan sebagai acuan stabilitas sisa pada spesifikasi umum perkerasan jalan. Dengan demikian, campuran AC-WC dengan aspal PG-70 pada KAO 5,75% menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pengaruh air.

Pada kondisi kepadatan mutlak, pemadatan dilakukan dengan tingkat pemadatan lebih tinggi dibandingkan benda uji stabilitas normal dan stabilitas sisa. Hasil pengujian menunjukkan nilai stabilitas sebesar 2.303,3 kg, flow 3,62 mm, kepadatan 2,392 gr/cc, MQ 678,0 kg/mm, VIM 3,21%, VMA 16,41%, dan VFB 80,47%. Nilai stabilitas, flow, dan VMA masih memenuhi persyaratan yang digunakan. Sementara itu, nilai VIM sebesar 3,21% berada sedikit di bawah rentang 3,3–4,0% yang dipersyaratkan untuk kondisi campuran normal. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan energi pemadatan menyebabkan rongga dalam campuran semakin berkurang sehingga campuran menjadi lebih padat.

Secara keseluruhan, penggunaan kadar aspal optimum sebesar 5,75% menghasilkan campuran AC-WC dengan karakteristik Marshall yang memenuhi sebagian besar parameter yang dipersyaratkan. Nilai IKS sebesar 93,27% juga menunjukkan kemampuan campuran dalam mempertahankan kekuatan setelah mengalami perendaman. Peningkatan stabilitas pada kondisi kepadatan mutlak menjadi 2.303,3 kg menunjukkan bahwa campuran memiliki kemampuan menahan beban yang tinggi ketika mengalami pemadatan lanjutan.

Analisa Karakteristik Marshall Lapis AC-WC Untuk Perkerasan (*Taxiway*) Berdasarkan Tiga Kondisi

Karakteristik marshall ini merupakan parameter yang berfungsi untuk menilai karakteristik volumetrik campuran aspal melalui pengujian marshall yang dilakukan di laboratorium. Dengan adanya tiga kondisi pengujian pada penelitian ini yaitu stabilitas normal, stabilitas sisa, dan kepadatan mutlak masing – masing memiliki hasil pengujian yang berbeda di setiap kondisinya.

Benda uji disimulasikan terhadap kondisi lapangan dimana terdapat tiga kondisi pada masing masing kondisi memiliki perbedaan. Untuk stabilitas normal sendiri pada kondisi lapangan merupakan perkerasan dimana pada jalur *taxiway* bandar udara mampu menahan beban kendaraan tanpa mengalami deformasi berlebih, atau *rutting* sehingga stabilitas normal menghasilkan nilai stabilitas yang cukup baik. Jika stabilitas sisa pada kondisi lapangan ini dimana pada jalur *taxiway* bandar udara mengalami suhu tropis, terkena genangan air, serta cuaca ekstrim sehingga pada kondisi seperti ini stabilitas sisa dapat menjadi evaluasi untuk durabilitas perkerasan terhadap pengaruh air serta Indeks Kekuatan Sisa (IKS) terhadap suatu perkerasan jalan. Sedangkan dari kepadatan mutlak (*refusal density*) ini merupakan tingkat kepadatan maksimum perkerasan pada kondisi lapangan ini dimana perkerasan terkena beban berat berulang oleh pesawat pada jalur *taxiway* bandar udara untuk mengetahui tingkat kepadatan (*density*) dan VIM pada suatu perkerasan jalan.

Stabilitas (*stability*)

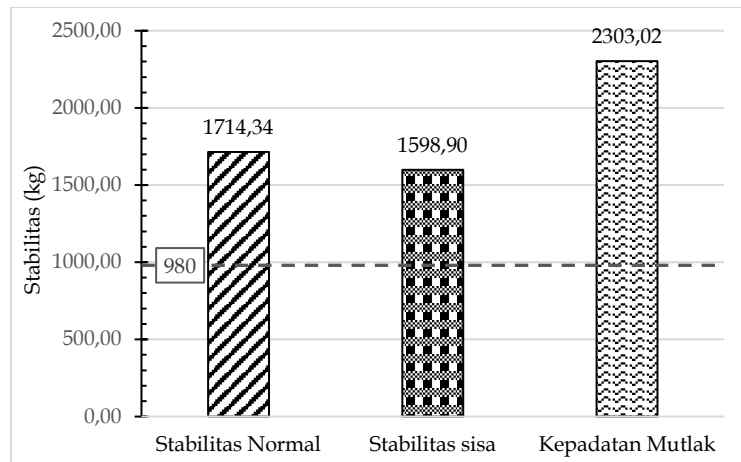
Pada hasil pengujian stabilitas ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 1 Analisa Parameter Stabilitas

Variasi Benda Uji	Stabilitas (kg)
Stabilitas Normal	1.714,3
Stabilitas Sisa	1.598,9
Kepadatan Mutlak	2.303,3

Sumber: Data Peneliti (2026)

Analisis terhadap parameter stabilitas berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.

**Gambar 1** Grafik Analisis Parameter Stabilitas

Sumber: Data Peneliti (2026)

Berdasarkan grafik stabilitas diatas terdapat tiga kondisi yaitu salah satunya kondisi normal, pada hasil stabilitas benda uji normal dihasilkan sebesar 1.714,3 kg. Nilai stabilitas oleh kondisi normal ini telah melewati batas persyaratan minimum yaitu sebesar 980 kg secara persentase dihasilkan 175% diatas persyaratan. Hasil dari nilai stabilitas yang tinggi ini dapat tercapai karena pada penelitian ini menggunakan jenis aspal modifikasi PG 70. Jadi pada kondisi normal perkerasan AC-WC PG 70 ini dapat digunakan untuk menahan beban pesawat yang melewati *taxiway* bandar udara karena berdasarkan hasil stabilitas yang didapat tersebut telah memenuhi persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026.

Pada kondisi stabilitas sisa, didapatkan hasil stabilitas benda uji stabilitas sisa sebesar 1598,90 kg. Dari hasil stabilitas oleh kondisi stabilitas sisa ini telah memenuhi persyaratan dengan minimum 980 kg. Menurut perhitungan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada kondisi stabilitas sisa harus memiliki nilai penurunan minimal 90%, pada kondisi stabilitas sisa pengujian ini dihasilkan presentase penurunan sebanyak 93,27% dari hasil tersebut kondisi stabilitas sisa telah memenuhi pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2025. Untuk kondisi stabilitas sisa terhadap kondisi normal dihasilkan penurunan sebesar 6,73% yang dimana nilai tersebut tergolong rendah, sehingga angka durabilitas dari campuran perkerasan AC-WC PG 70 ini membuktikan bahwasanya pada campuran aspal mempunyai tingkat durabilitas serta ketahanan pada kondisi lapangan dengan kerusakan akibat air, suhu tinggi, dan iklim tropis termasuk yang sangat baik.

Kondisi kepadatan mutlak disimulasikan dengan *refusal density* atau pemadatan sekunder yang diakibatkan oleh beban berat yang melalui perkerasan secara terus - menerus, didapatkan hasil stabilitas benda uji kepadatan mutlak sebesar 2303,2 kg. Dari hasil stabilitas oleh kondisi kepadatan mutlak telah memenuhi persyaratan pada pedoman yang digunakan. Pada hasil stabilitas ini terdapat perbedaan yang signifikan oleh kondisi normal dengan kondisi kepadatan mutlak dengan kenaikan nilai sebesar 588,68 kg. kenaikan stabilitas yang sangat signifikan ini dapat terjadi karena proses pemadatan maksimal sehingga rongga udara (VIM) menjadi sangat kecil. Dengan agregat tersusun rapat menghasilkan gaya gesek serta kunci antar partikel secara maksimal. Hasil dari kondisi kepadatan mutlak ini dimana campuran tidak akan mengalami kegagalan struktural (*bleeding* atau kehilangan stabilitas) pada saat mencapai kepadatan puncak pada lapangan akibat beban pesawat yang melewati jalur *taxiway* bandar udara.

Kelelahan (*flow*)

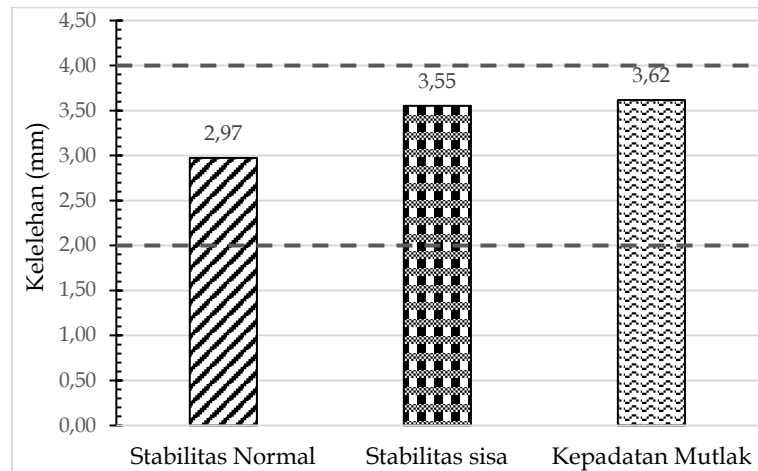
Pada hasil pengujian kelelahan (*flow*) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2 Analisa Parameter Kelelahan (*flow*)

Variasi Benda Uji	Flow (mm)
Stabilitas Normal	2,97
Stabilitas Sisa	3,55
Kepadatan Mutlak	3,62

Sumber: Data Peneliti (2026)

Analisis terhadap parameter kelelahan (*flow*) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2 Grafik Analisis Parameter Kelelahan

Sumber: Data Peneliti (2026)

Berdasarkan Gambar 2 terdapat tiga kondisi kelelahan (*flow*), yaitu stabilitas normal, stabilitas sisa, dan kepadatan mutlak. Pada parameter kelelahan ini mencerminkan bagaimana deformasi plastis terhadap suatu perkerasan jalan. Garis batasan pada grafik diatas merupakan rentang kelelahan yang dipersyaratkan oleh KP DJPU 74 Tahun 2026, yaitu berada di 2,00 mm sampai 4,00 mm. Pada kondisi stabilitas normal kelelahan diperoleh dengan nilai sebesar 2,97 mm dimana pada kondisi ini nilai kelelahan stabilitas normal berada tepat di area tengah rentang batas ideal (2,00 mm – 4,00 mm). Dari hasil kelelahan (*flow*) kondisi stabilitas normal tersebut menunjukkan bahwasanya pada kondisi ini campuran memiliki keseimbangan (*balance*) antara tingkat kekakuan (*stiffness*) dengan fleksibilitas yang sangat baik. Jadi kesimpulan dari kondisi stabilitas normal tersebut pada lapangan yaitu aspal tidak mudah mengalami keretakan (*cracking*) namun juga tidak terlalu fleksibel sehingga dapat menahan terjadinya deformasi permanen (*rutting*) oleh beban berat pesawat pada area *taxiway* bandar udara.

Kondisi stabilitas sisa, pada parameter kelelahan ini untuk hasil kondisi stabilitas sisa mengalami peningkatan menjadi 3,55 mm. Dengan selisih peningkatan dari kondisi stabilitas normal yaitu sebanyak 0,58 mm. Pada kondisi stabilitas sisa ini terjadi kenaikan kelelahan yang disebabkan oleh proses perendaman benda uji ke dalam *water bath* pada suhu 60°C dengan lama perendaman yaitu 24 jam sebelum dilakukan pengujian. Kondisi stabilitas sisa ini mengalami pemanasan yang konstan dengan jangka waktu yang cukup lama sehingga menyebabkan efek pelunakan pada aspal. Hal tersebut mengakibatkan campuran menjadi lebih plastis sehingga mengalami deformasi atau regangan yang lebih besar. dari kenaikan hasil stabilitas sisa di angka 3,55 mm ini masih memenuhi syarat spesifikasi pada pedoman KP DJPU 74 Tahun 2026. Jadi dapat disimpulkan kondisi lapangan perkerasan *taxiway* bandar udara lapis AC-WC dengan PG 70 campuran menandakan tetap memiliki durabilitas serta fleksibilitas yang stabil meskipun terkena paparan cuaca yang esktrim serta pengaruh air.

Kepadatan mutlak pada kondisi ini terjadi peningkatan kelelahan tertinggi dengan nilai kelelahan mencapai 3,62 mm. hasil kelelahan kondisi kepadatan mutlak tersebut telah memenuhi spesifikasi yang telah dipersyaratkan oleh KP DJPU 74 Tahun 2026. Pada hasil pengujian ini memiliki selisih yang signifikan dengan kondisi stabilitas normal dengan selisih sebesar 0,65 mm. Tingkat kerapatan oleh kondisi kepadatan mutlak ini memiliki tingkat kerapatan maksimum (*refusal density*) dapat disimulasikan dengan akumulasi beban berulang dalam jangka waktu yang lama. Nilai kelelahan yang meningkat ini disebabkan karena kurangnya rongga udara dalam campuran (VIM) secara signifikan yang diakibatkan oleh pemadatan ekstra, dimana ikatan aspal berpotensi sebagai pelumas antar partikel agregat ketika diberi beban puncak. Kesimpulan dari kepadatan mutlak ini yaitu nilai 3,62 mm kelelahan (*flow*) oleh kepadatan mutlak ini masih berada dibawah batas atas 4,00 mm menunjukkan bahwa campuran aspal tidak mengalami pelelehan plastis yang berlebih serta tidak berpotensi bleeding pada perkerasan *taxiway* bandar udara lapis AC -WC dengan menggunakan aspal PG 70.

A. Kepadatan (*density*)

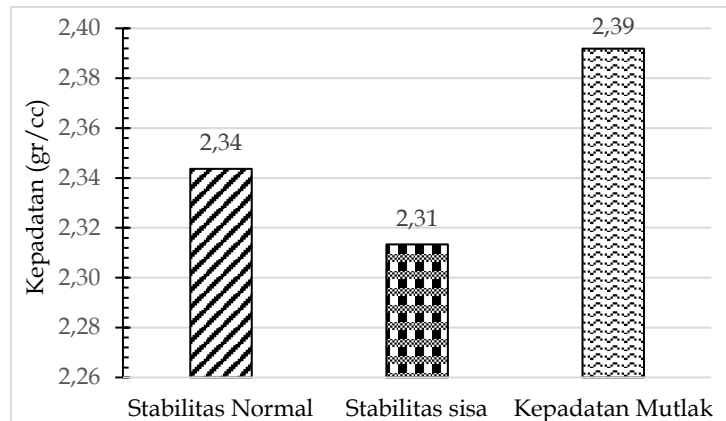
Tabel 3 Analisa Parameter Kepadatan (*density*)

Variasi Benda Uji	Kepadatan (gr)
Stabilitas Normal	2,34
Stabilitas Sisa	2,31
Kepadatan Mutlak	2,39

Sumber: Data Peneliti (2026)

Pada hasil pengujian kepadatan (*density*) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat yang ada pada Tabel 4.28.

Analisis terhadap parameter kepadatan (*density*) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.

**Gambar 3** Grafik Analisis Parameter Kepadatan

Sumber: Data Peneliti (2026)

Berdasarkan Gambar 3 terdapat hasil parameter kepadatan (*density*) perbandingan tiga kondisi yang berbeda, yaitu kepadatan pada stabilitas normal didapatkan sebesar 2,34 gr/cc, kepadatan stabilitas sisa didapatkan sebesar 2,31 gr/cc, kepadatan mutlak didapatkan sebesar 2,39 gr/cc. pada semua pengujian yang dilakukan terhadap masing – masing kondisi tersebut telah sesuai dengan karakteristik campuran beraspal. Hasil dari parameter kepadatan ini dinyatakan memenuhi karena pada pedoman KP DJPU 74 Tahun 2026 untuk parameter kepadatan (*density*) tidak dipersyaratkan.

Kondisi stabilitas normal, hasil dari pengujian parameter kepadatan oleh kondisi normal tersebut menghasilkan nilai yang lebih rendah dari kondisi kepadatan mutlak, secara desain pada kondisi stabilitas normal ini menyisakan ruang berupa rongga yang ada pada campuran (VIM) sehingga menyebabkan volume total benda uji menjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi kepadatan mutlak yang dimana nilai kepadatan menjadi turun dengan nilai sebesar 2,39 gr/cc. Pada kondisi lapangan stabilitas normal rongga berfungsi sebagai ruang untuk pemuatan aspal ketika suhu panas serta beban berat yang melintas pada *taxiway* bandar udara.

Pada kondisi stabilitas sisa terjadi penurunan dimana dihasilkan nilai kepadatan pada kondisi stabilitas sisa ini sebesar 2,31 gr/cc. Dalam kondisi ini penurunan terjadi akibat proses perendaman pada suhu 60°C dengan waktu yang cukup lama yaitu selama 24 jam. Proses perendaman yang lama pada kondisi stabilitas sisa menyebabkan air yang masuk kedalam rongga udara (pori – pori) semakin banyak dimana masuknya air suhu tinggi dapat memicu terjadinya pengembangan volumetrik ataupun terjadi pelemahan ikatan adhesi antar agregat dengan aspal. Kondisi seperti ini dapat terjadi di lapangan dimana perkerasan jalan tergenang oleh air hujan dan juga suhu tinggi dengan iklim tropis yang berakibat langsung terhadap penurunan nilai kepadatan.

Kondisi kepadatan mutlak memiliki nilai kepadatan yang paling tinggi diantara stabilitas normal dan stabilitas sisa dengan hasil kepadatan sebesar 2,39 gr/cc. kepadatan mutlak pada parameter kepadatan (*density*) ini bisa mencapai hasil tinggi karena dalam kondisi lapangan disimulasikan dengan adanya beban berulang berlebih secara terus – menerus yang melalui perkerasan *taxiway* bandar udara lapis AC -WC dengan aspal PG 70 ini sehingga menghasilkan durabilitas yang lebih baik, rongga udara yang nyaris tidak ada dan kepadatan secara maksimal.

B. *Marshall Quotient* (MQ)

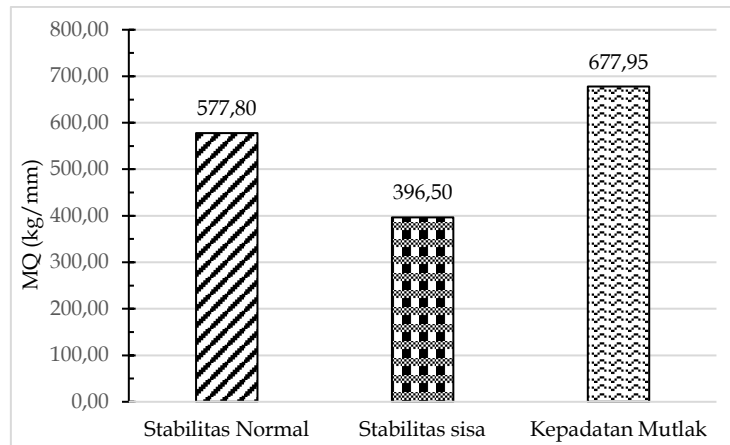
Pada hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Analisa Parameter Marshall Quotient

Variasi Benda Uji	MQ (kg/mm)
Stabilitas Normal	577,8
Stabilitas Sisa	396,5
Kepadatan Mutlak	678,0

Sumber: Data Peneliti (2026)

Analisis terhadap parameter *Marshall Quotient* (MQ) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Analisis Parameter Marshall Quotient

Sumber: Data Peneliti (2026)

Berdasarkan grafik 4. pada kondisi stabilitas normal, *marshall quotient* (MQ) ini memperoleh hasil dengan nilai sebesar 577,80 kg/mm. Menurut pedoman KP DJPU 74 Tahun 2026 untuk *marshall quotient* tidak dipersyaratkan. Kondisi stabilitas normal ini termasuk dalam tingkat kekakuan ideal campuran pada kondisi desain operasional standar, namun pada kondisi lapangan sisi udara (*airside*) bandara khususnya area *taxiway*, hasil nilai kekakuan tergolong krusial karena sisi udara bandara secara terus menerus menerima beban berulang dari roda pesawat yang dimana pada saat proses *landing* pesawat memiliki beban tekanan yang sangat tinggi. Dari nilai MQ 577,80 kg/mm hasil tersebut menunjukkan bahwa perkerasan lapis AC -WC dengan aspal PG 70 memiliki ketahanan yang mampu menahan deformasi plastis akibat beban pesawat yang melintas.

Pada kondisi stabilitas sisa diperoleh hasil *marshall quotient* sebesar 396,50 kg/mm dimana dari hasil nilai tersebut terjadi penurunan sebesar 31,37% disbanding dengan hasil kondisi normal. Penurunan yang signifikan ini terjadi akibat dari proses perendaman ekstrem (*water bath* dengan suhu 60°C selama 24 jam) dimana proses tersebut dapat mensimulasikan saat ketahanan campuran terhadap pengaruh air. Saat dilakukan proses perendaman yang cukup lama pada stabilitas sisa hal ini menyebabkan terjadinya peresapan air kedalam rongga perkerasan sehingga mengakibatkan pelemahan ikatan adhesi antara aspal dengan permukaan agregat. Terjadinya pelemahan ikatan ini mengakibatkan berkurangnya daya ikat antar butir sehingga campuran kehilangan sebagian kekakuannya. Saat kondisi lapangan pada *taxiway* bandar udara, kondisi ini digambarkan dengan tingginya risiko kerusakan struktural yang dapat terjadi jika perkerasan terjadi genangan air akibat sistem drainase bandara yang kurang optimal, ditambah dengan suhu tinggi pada iklim tropis yang menjadikan perkerasan sangat rentan terhadap pengelupasan serta deformasi pada saat dilalui beban berat pesawat.

Pada kondisi kepadatan mutlak nilai MQ dihasilkan sebesar 677,95 kg/mm dimana pada hasil pengujian ini kondisi ini merupakan yang paling tinggi. Kondisi kepadatan mutlak ini merupakan perkerasan yang mungkin hampir tidak memiliki rongga udara sama sekali sehingga secara mekanika perkerasan dimana gesekan dan penguncian antar partikel agregat (*aggregate interlocking*) terjadi secara maksimal. Dari hasil tersebut sehingga pada kondisi kepadatan mutlak ini menghasilkan MQ yang paling tinggi diantara kondisi normal dan sisa sebelumnya. Kepadatan mutlak pada kondisi lapangan disimulasikan dengan perkerasan *taxiway* bandar udara lapis AC -WC menggunakan aspal PG 70

terkena beban pesawat secara terus menerus dimana perkerasan mencapai titik *interlocking* antar agregat yang maksimal sehingga perkerasan tersebut sudah tidak dapat dipadatkan lagi.

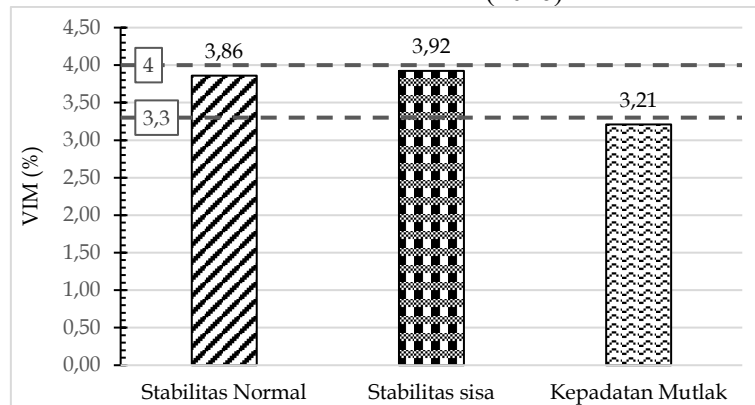
C. *Void in Mix* (VIM)

Pada hasil pengujian *Void in Mix* (VIM) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 5 Analisa Parameter *Void in Mix* (VIM)

Variasi Benda Uji	<i>Void in Mix</i> (%)
Stabilitas Normal	3,86
Stabilitas Sisa	3,92
Kepadatan Mutlak	3,21

Sumber: Data Peneliti (2026)



Gambar 5 Grafik Analisis Parameter *Void in Mix* (VIM)

Sumber: Data Peneliti (2026)

Analisis terhadap parameter *Void in Mix* (VIM) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan grafik hasil pengujian *Void in Mix* (VIM) diketahui kondisi stabilitas normal menghasilkan nilai VIM sebesar 3,86%. Pada hasil kondisi tersebut memenuhi spesifikasi persyaratan KP DJPU 74 Tahun 2026 karena dari pedoman tersebut dipersyaratkan untuk parameter VIM di rentang 3,30% hingga 4,00%. Dari hasil kondisi stabilitas normal ini menunjukkan bahwa rancangan campuran aspal saat proses pemadatan memiliki persentase rongga udara yang ideal. Dari hasil 3,86% ini pada kondisi lapangan untuk perkerasan *taxiway* bandara dimana suatu perkerasan memberikan ruang bebas yang memadai dalam agregat untuk proses terjadinya pemuatan aspal akibat peningkatan suhu lingkungan tanpa menyebabkan kegagalan bentuk sekaligus menjaga campuran tetap kedap air sehingga air maupun udara dari luar dapat diminimalisir.

Pada pengujian dengan kondisi stabilitas sisa dihasilkan nilai VIM yang dimana hasil dari kondisi tersebut mengalami sedikit peningkatan sebesar 3,92%. Pada kondisi stabilitas sisa ini peningkatan pada persentase rongga udara merupakan respon fisik dan mekanis yang masih tergolong wajar akibat proses perendaman (*water bath*) dengan suhu tinggi (suhu 60°C) dalam waktu yang cukup lama (24 jam). Peresapan air ke dalam struktur campuran perkerasan dimana air memaksa masuk kedalam ikatan antara aspal dan agregat, sehingga mengakibatkan rongga makro sedikit memuai secara volumetrik. Meskipun terjadi peningkatan persentase rongga udara pada kondisi stabilitas sisa, nilai 3,92% ini masih termasuk ke dalam batas spesifikasi persyaratan. Jadi pada kondisi lapangan *taxiway* bandara nilai VIM dinyatakan memenuhi karena membuktikan bahwa campuran perkerasan ini kedap dan tidak mudah mengalami kerusakan dini atau pengelupasan akibat paparan air serta suhu ekstrem yang ada pada kondisi lapangan.

Hasil *void in mix* pada kondisi kepadatan mutlak ini mengalami penyusutan dengan hasil nilai sebesar 3,21%. Penurunan pada kondisi ini terjadi karena adanya proses pemadatan secara maksimal hingga batas *refusal*. Dengan adanya penambahan jumlah tumbukan (sebanyak 400x tumbukan) yang sesuai dengan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga pada Spesifikasi Umum tahun 2025 ini memaksa susunan partikel agregat kasar dan halus pada campuran saling mengunci (*interlocking*) dengan jauh lebih rapat. Dari perlakuan tersebut secara otomatis menekan udara bebas

dari dalam campuran perkerasan. Pada kondisi lapangan disimulasikan dengan pemadatan yang berulang oleh pesawat yang melintasi perkerasan *taxiway* bandara yang menunjukkan pembebanan maksimal, sehingga menyebabkan perkerasan menjadi sangat padat dan sisa rongga udara menurun hingga menghasilkan persentase 3,21% hasil ini mengacu pada Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga pada Spesifikasi Umum tahun 2025 dengan persyaratan VIM minimal 2% sehingga hasil tersebut dinyatakan memenuhi.

D. *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

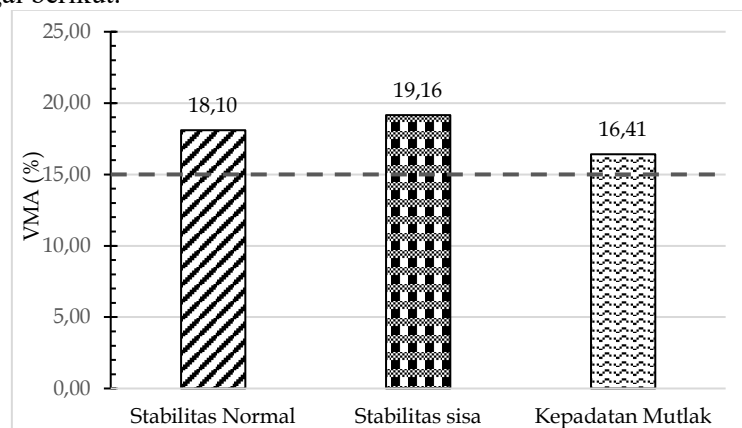
Pada hasil pengujian *Void in Mineral Aggregate* (VMA) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 6 Analisa Parameter *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Variasi Benda Uji	<i>Void in Mineral Aggregate</i> (%)
Stabilitas Normal	18,10
Stabilitas Sisa	19,16
Kepadatan Mutlak	16,41

Sumber: Data Peneliti (2026)

Analisis terhadap parameter *Void in Mineral Agregat* (VMA) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik Analisis Parameter *Void in Mineral Agregat*

Sumber: Data Peneliti (2026)

Berdasarkan Gambar 6 dimana gambar grafik tersebut merupakan hasil dari pengujian *Void in Mix* (VIM). Pada kondisi stabilitas normal dihasilkan rongga udara dengan nilai VIM sebesar 18,10%. Nilai yang dihasilkan dari kondisi stabilitas normal ini berada jauh di atas batas minimum spesifikasi persyaratan pedoman KP DJPU 74 Tahun 2026 yaitu 15,00% (yang ditunjukkan pada grafik dengan garis putus – putus), jadi hasil *Void in Mix* dari kondisi stabilitas normal ini dinyatakan memenuhi. Pada kondisi lapangan perkerasan *taxiway* bandara lapis AC -WC dengan menggunakan aspal PG 70 ini merupakan kondisi ideal pemadatan standar dimana perkerasan memiliki ruang pori yang cukup yang berfungsi untuk mengalirkan air limpasan ke permukaan dengan baik.

Pengujian *Void in Mix* dengan kondisi stabilitas sisa mengalami peningkatan dari kondisi normal menjadi sebesar 19,16%. Peningkatan persentase rongga udara ini terjadi disebabkan oleh proses perendaman (*water bath*) yang dilakukan pada benda uji dengan waktu yang cukup lama (24 jam) sebelum pengujian marshall, dimana air yang meresap masuk kedalam struktur ikatan antara aspal dan agregat yang menyebabkan awal terjadinya pengelupasan (*stripping*). Proses mekanis dan kimiawi akibat air menjadi penyebab rongga udara sedikit membesar dengan bertambah 1,06% dari kondisi normal, sehingga nilai VIM yang terukur menghasilkan nilai lebih tinggi.

Kondisi kepadatan mutlak (*refusal density*), kondisi ini nilai *void in mix* (VIM) mengalami nilai penurunan sebesar 16,41%. Dimana hasil tersebut memenuhi persyaratan pedoman KP DJPU 74 Tahun 2026. Penurunan persentase rongga udara ini merupakan efek dari pemadatan secara maksimal (hingga batas *refusal*) pada kondisi kepadatan mutlak. Proses tumbukan dengan jumlah yang banyak (400x tumbukan) ini meningkatkan penguncian antar agregat (*interlocking*), sehingga volume udara yang ada pada rongga – rongga berkurang signifikan disbanding dengan kondisi pemadatan normal. Pada kondisi

lapangan hal ini membuktikan bahwa desain campuran sangat baik karena rongga udara tidak akan menutup sepenuhnya serta campuran tidak akan mengalami *bleeding* atau kehilangan fungsi drainasenya meskipun saat menerima beban berlebih yang berulang pada perkerasan *taxiway* sisi udara bandara.

E. *Void Filled by Bitumen* (VFB)

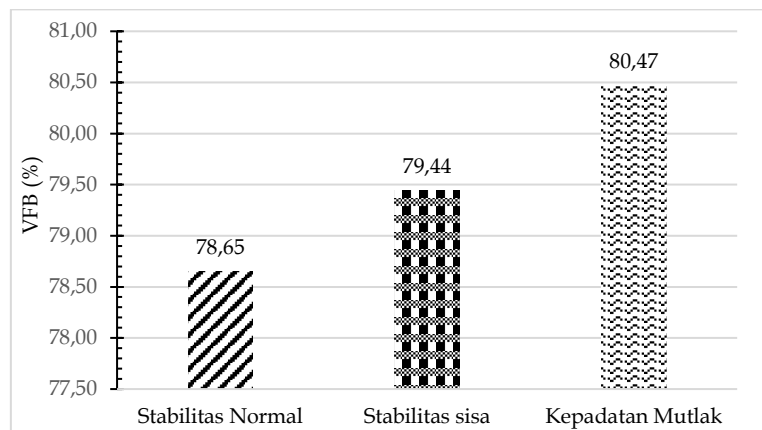
Tabel 7 Analisa Parameter *Void Filled by Bitumen* (VFB)

Variasi Benda Uji	<i>Void Filled by Bitumen</i> (%)
Stabilitas Normal	78,65
Stabilitas Sisa	79,44
Kepadatan Mutlak	80,47

Sumber: Data Peneliti (2026)

Pada hasil pengujian *Void Filled by Bitumen* (VFB) ini peneliti menjadikan acuan dalam pelaksanaan analisis yang dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Analisis terhadap parameter *Void Filled by Bitumen* (VFB) berdasarkan beberapa variasi pengujian dalam penelitian ini dengan kondisi benda uji ditampilkan kedalam bentuk grafik. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 7 Grafik Analisa Parameter *Void Filled by Bitumen*

Sumber: Data Peneliti (2026)

Pada grafik diatas menunjukkan hasil pengujian *Void Filled by Bitumen*. Parameter VFB ini menunjukkan seberapa besar rongga di antara *void mineral aggregate* (VMA) yang terisi oleh aspal. Hasil VFB untuk kondisi stabilitas normal menghasilkan persentase sebesar 78,65%. Hasil dari kondisi pemadatan standar ini menunjukkan bahwa sebagian besar rongga diselimuti oleh pengikat aspal dengan ketebalan yang memadai untuk perkerasan *taxiway* bandara. Pada kondisi lapangan proporsi ini sangat penting untuk perkerasan sisi udara *taxiway* bandara karena memastikan durabilitas pada perkerasan, dimana aspal yang cukup memberikan fleksibilitas yang baik, mengikat agregat secara kuat untuk mencegah pelepasan butir – butir, dan melindungi campuran dari oksidasi berlebih akibat terpapar udara.

Pada pengujian stabilitas sisa dihasilkan nilai VFB sebanyak 79,44% dimana nilai tersebut mengalami peningkatan terhadap kondisi normal. Peningkatan ini terjadi karena proses perendaman (*water bath*) benda uji. Saat benda uji dilakukan perendaman dalam air bersuhu tinggi (suhu 60°C) selama 24 jam, sehingga material aspal di dalam rongga campuran mengalami sedikit pemuaiian termal karena aspal memiliki sifat termoplastik. Peningkatan suhu ini menyebabkan volume aspal sedikit mengembang di dalam struktur pori. Hal ini mengakibatkan persentase rongga antar agregat yang telah terisi oleh aspal diperoleh hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi normal. Pada kondisi stabilitas sisa lapangan perkerasan lapis AC-WC dengan aspal PG 70 *taxiway* bandara disimulasikan dengan perkerasan yang tergenang air dan terpapar suhu ekstrem serta iklim tropis dengan waktu yang cukup lama sehingga menghasilkan VFB dengan nilai yang tinggi dibandingkan dengan kondisi stabilitas normal.

Pada kondisi kepadatan mutlak (*refusal density*) pengujian VFB ini menghasilkan nilai sebesar 80,47%. Secara teori hasil kenaikan VFB dalam kondisi kepadatan mutlak ini merupakan hasil dari penerapan pemadatan yang maksimal. Tumbukan ekstra dalam uji kepadatan mutlak menjadikan

agregat jauh lebih rapat (*interlocking* maksimal), dimana dari *interlocking* maksimal ini dapat secara langsung memperkecil volume ruang kosong secara keseluruhan pada perkerasan (VMA menurun). Pada kondisi kepadatan mutlak ini volume dalam campuran tetap konstan, sementara ruang yang menampungnya (VMA) mengalami penyusutan, maka rongga yang terisi oleh aspal (VFB) secara otomatis akan mengalami peningkatan. Pada kondisi lapangan hasil VFB dari kondisi kepadatan mutlak di angka 80,47% ini menunjukkan pada perkerasan *taxiway* bandara lapis AC-WC dengan aspal PG 70 bahwasanya jika perkerasan terkena beban pesawat secara menerus atau terjadi pemadatan maksimal rongga akan semakin dipenuhi aspal.

Karakteristik Campuran AC-WC pada Kondisi Stabilitas Normal

Hasil pengujian Marshall pada campuran AC-WC menggunakan aspal PG 70 pada kondisi stabilitas normal menunjukkan bahwa campuran memiliki karakteristik mekanis dan volumetrik yang memenuhi persyaratan. Nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 1.714,34 kg, lebih tinggi dibandingkan batas minimum 980 kg, sedangkan nilai flow sebesar 2,97 mm masih berada dalam rentang persyaratan 2,00–4,00 mm. Nilai Marshall Quotient (MQ) sebesar 577,80 kg/mm menunjukkan bahwa campuran memiliki keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas yang baik. Stabilitas campuran dipengaruhi oleh *interlocking* agregat dan kohesi aspal, sedangkan fleksibilitas berkaitan dengan kemampuan campuran menerima deformasi tanpa mengalami retak (Sukirman, 2016).

Dari aspek volumetrik, nilai VIM sebesar 3,86% dan VMA sebesar 18,10% menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kepadatan dan ruang antaragregat yang memadai. Kondisi tersebut dapat mendukung durabilitas campuran dengan membatasi masuknya air dan udara, tetapi tetap menyediakan ruang yang cukup bagi aspal untuk mengisi rongga campuran. Penggunaan aspal PG 70 juga mendukung ketahanan campuran terhadap deformasi pada temperatur tinggi sehingga sesuai untuk aplikasi perkerasan dengan beban berat seperti *taxiway* bandar udara. Berdasarkan parameter tersebut, campuran AC-WC pada kondisi stabilitas normal menunjukkan stabilitas, fleksibilitas, ketahanan geser, dan karakteristik volumetrik yang memenuhi persyaratan (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2026).

Karakteristik Campuran AC-WC Berdasarkan Stabilitas Sisa

Pengujian stabilitas sisa dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan campuran mempertahankan kinerja setelah mengalami perendaman pada temperatur tinggi. Hasil pengujian menunjukkan nilai stabilitas sebesar 1.598,90 kg, yang masih berada jauh di atas persyaratan minimum 980 kg. Nilai MQ sebesar 396,50 kg/mm menunjukkan adanya penurunan kekakuan dibandingkan kondisi normal, namun campuran masih memiliki kemampuan menahan beban yang baik. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa paparan air dan temperatur dapat memengaruhi respons mekanis campuran, tetapi tidak menyebabkan penurunan stabilitas hingga berada di bawah batas persyaratan.

Karakteristik volumetrik menunjukkan nilai VIM sebesar 3,92% dan VMA sebesar 19,16%, sedangkan nilai flow sebesar 3,55 mm masih memenuhi rentang persyaratan 2,00–4,00 mm. Nilai VFB sebesar 79,44% menunjukkan bahwa sebagian besar rongga antaragregat telah terisi aspal secara memadai. Kondisi tersebut mendukung kemampuan campuran dalam mempertahankan ikatan antara aspal dan agregat selama perendaman. Secara keseluruhan, campuran AC-WC menggunakan aspal PG 70 pada kondisi stabilitas sisa masih menunjukkan daya dukung, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap pengaruh air yang baik, sehingga memenuhi parameter yang dipersyaratkan untuk perkerasan *taxiway* (Sukirman, 2016; Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2026).

Karakteristik Campuran AC-WC pada Kondisi Kepadatan Mutlak

Kondisi kepadatan mutlak disimulasikan melalui pemadatan sebanyak 400 tumbukan untuk menggambarkan kondisi campuran setelah mengalami pemadatan lanjutan akibat repetisi beban selama masa layan. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai stabilitas menjadi 2.303,02 kg dengan flow sebesar 3,62 mm. Nilai stabilitas tersebut menunjukkan peningkatan kapasitas campuran dalam menahan beban akibat semakin rapatnya susunan agregat dan meningkatnya *interlocking* antarpartikel. Nilai flow masih berada dalam rentang persyaratan 2,00–4,00 mm, sehingga peningkatan kepadatan tidak menyebabkan campuran kehilangan fleksibilitas secara berlebihan.

Nilai MQ sebesar 677,95 kg/mm menunjukkan peningkatan kekakuan campuran dibandingkan kondisi normal dan stabilitas sisa. Peningkatan tersebut berkaitan dengan semakin rapatnya struktur agregat akibat pemadatan. Dari parameter volumetrik diperoleh nilai VIM sebesar 3,21%, VMA sebesar 16,41%, dan VFB sebesar 80,47%, dengan kepadatan sebesar 2,39 gr/cc. Penurunan VIM menunjukkan

berkurangnya rongga udara dalam campuran, sedangkan peningkatan VFB menunjukkan semakin besarnya proporsi rongga antaragregat yang terisi aspal. Kondisi ini meningkatkan kekedapan campuran terhadap air, tetapi pemadatan berlebih tetap perlu diperhatikan karena rongga udara yang terlalu rendah dapat meningkatkan risiko bleeding pada kondisi tertentu (Sukirman, 2016).

Secara keseluruhan, campuran AC-WC dengan aspal PG 70 pada kondisi kepadatan mutlak menunjukkan kapasitas beban dan ketahanan geser paling tinggi dibandingkan kondisi stabilitas normal dan stabilitas sisa. Nilai stabilitas, flow, dan parameter volumetrik yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran tetap berada dalam karakteristik yang dipersyaratkan untuk perkerasan taxiway (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2026).

Perbandingan Karakteristik Campuran

Perbandingan ketiga kondisi pengujian menunjukkan adanya perubahan karakteristik campuran akibat perbedaan tingkat pemadatan dan kondisi perendaman. Stabilitas meningkat dari 1.714,34 kg pada kondisi normal menjadi 2.303,02 kg pada kondisi kepadatan mutlak, sedangkan stabilitas sisa mencapai 1.598,90 kg. Nilai flow berturut-turut sebesar 2,97 mm, 3,55 mm, dan 3,62 mm, yang seluruhnya masih memenuhi persyaratan. Sementara itu, nilai VIM masing-masing sebesar 3,86%, 3,92%, dan 3,21%, menunjukkan bahwa kepadatan mutlak menghasilkan struktur campuran dengan rongga udara paling rendah.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kepadatan mutlak memberikan kapasitas beban dan ketahanan geser tertinggi, sedangkan kondisi stabilitas sisa menunjukkan bahwa campuran masih mampu mempertahankan kinerja mekanis setelah mengalami perendaman. Penggunaan aspal PG 70 pada campuran AC-WC memberikan karakteristik kekakuan dan stabilitas yang sesuai untuk menerima beban berat pada perkerasan taxiway. Namun, peningkatan kepadatan perlu dikendalikan agar penurunan VIM tidak berlebihan dan tetap berada dalam rentang yang dapat menjamin keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan durabilitas campuran (Sukirman, 2016).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Design Mix Formula (DMF) campuran AC-WC untuk perkerasan taxiway terdiri atas 34,0% agregat fraksi 10–15 mm, 28,0% fraksi 5–10 mm, 36,0% fraksi 0–5 mm, dan 2,0% filler. Gradasi tersebut dipilih berdasarkan hasil trial gradasi yang memenuhi persyaratan, sehingga diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,75%.
2. Pada KAO 5,75% kondisi normal, campuran AC-WC dengan aspal PG 70 menghasilkan stabilitas 1.714,34 kg, flow 2,97 mm, VIM 3,86%, VMA 18,10%, VFB 78,65%, dan MQ 577,80 kg/mm. Hasil tersebut menunjukkan keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan karakteristik volumetrik campuran serta memenuhi persyaratan yang digunakan.
3. Kondisi pengujian memberikan pengaruh terhadap karakteristik campuran. Pada stabilitas sisa, stabilitas menurun menjadi 1.598,90 kg atau sebesar 6,73% dari kondisi normal, dengan flow meningkat menjadi 3,55 mm dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 93,27%. Sementara itu, pada kepadatan mutlak, stabilitas meningkat menjadi 2.303,30 kg dan flow menjadi 3,62 mm akibat peningkatan kepadatan dan interlocking agregat. Ketiga kondisi tersebut masih menunjukkan karakteristik campuran yang memenuhi persyaratan untuk aplikasi AC-WC pada perkerasan taxiway.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi material dengan sumber agregat lain karena penelitian ini hanya menggunakan satu sumber material.
2. Analisis dapat dikembangkan dengan membandingkan variasi durasi dan suhu perendaman yang lebih luas, untuk mengetahui daya tahan jangka panjang yang diperoleh dari nilai IKS.
3. Penelitian ini masih bersifat laboratorium. Disarankan dilakukan uji coba atau pemantauan langsung di lapangan untuk memvalidasi hasil terhadap kondisi operasional sebenarnya.
4. Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini belum membahas tentang aspek biaya, disarankan pada penelitian selanjutnya mengenai perbandingan biaya aspal PG 70 dengan jenis aspal lain untuk melengkapi pertimbangan kelayakan ekonomi.

REFERENSI

- Andriyanto, C. D. N. (2025). *Nilai karakteristik campuran aspal Performance Grade (PG 76) terhadap stabilitas dan flow pada campuran aspal panas AC-Wearing Course*.
- Andriyanto, C. D. N. (2025). *Studi nilai karakteristik campuran aspal Performance Grade (PG 76) terhadap stabilitas dan flow pada campuran aspal panas AC-Wearing Course*.
- Azka, C. N., & S. I. H. (2023). *Perkerasan jalan*. Medsan. <https://www.medsan.co.id>
- Barkah, H. (2023). *Penentuan kadar aspal optimum untuk jenis Laston AC-WC dengan variasi 4 agregat dari 4 lokasi*.
- Bramaranda, R. (2019). *Perencanaan tebal perkerasan kaku (rigid pavement) pada ruas Jalan Brigjen Sudiarto (Semarang)*.
- Cevino, D., Watu, D., & Sebayang, N. (2023). *Studi perencanaan geometrik dan perkerasan lentur (flexible pavement) ruas Jalan Sp. Gerong–Tuakepa STA. 0+000–4+000 Kabupaten Flores Timur; Provinsi Nusa Tenggara Timur*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan*.
- Egia, K. (2025). *Rancangan rekonstruksi lapis perkerasan Taxiway Golf pada Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang [Tugas akhir]*.
- Ikhwanudin, H. A., Narendro, M. P., & Widadi, N. (2024). Rancang bangun dan uji kinerja sieve analysis apparatus berbasis mikrokontroller Arduino Uno untuk praktikum di laboratorium rekayasa pangan. *Jurnal Pengembangan Laboratorium*, 3(2). <https://doi.org/10.25047/plp.v3i2.4455>
- Nasution Hidayah, & Benny. (2022). *Analisis konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement)*.
- Nurpatricia, K. E. (1996). *Penelitian laboratorium Split Mastic Asphalt grading 0/11*.
- Paramahamsa, K. L. M., & Sari, A. N. (2022). Studi perencanaan perkerasan runway dan taxiway dengan metode Federal Aviation Administration. *Journal of Airport Engineering Technology*, 2(2), 67–74. <https://doi.org/10.52989/jaet.v2i2.56>
- Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan*.
- Qadafi, & Rijal. (2021). *Tinjauan perencanaan perkerasan lentur ruas Jalan Simpang Pariaman sampai dengan Simpang Keliling Kota Pariaman*.
- Ramadhan, A. M. (2023). *Pengaruh fluktuasi gradasi terhadap daya dukung agregat kelas A*.
- Risfendra, R., Putra, R. E., Pulungan, A. B., Taali, T., & Setyawan, H. (2023). Sistem timbangan digital menggunakan HMI Weintek berbasis Outseal PLC. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 31–39. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.348>
- Sadikin, D. A., Akbardin, J., & Sekaryadi, Y. (2024). Analisis pengaruh penggunaan kulit kerang sebagai filler pada campuran AC-WC untuk desain perancangan runway. *Jurnal Sipil Kokoh*, 22(1).
- Setiawan, D. A., Sunarjono, S., & Riyanto, A. (2013). Pengaruh penuaan dan lama perendaman terhadap durabilitas campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC).
- Seto, G. A., Muhamad, L. O., Arsyad, N., & Soeparyanto, S. (2023). Evaluasi kekuatan perkerasan sisi udara (runway, taxiway, apron) Bandara Matahora Kabupaten Wakatobi dengan metode perbandingan ACN-PCN. *Jurnal Media Konstruksi*, 8(4).
- Setyobudi, R., Yulistiyanti, L. D., Octavia, S. N., Wicaksono, R. H., & Setiyanta, N. C. (2024). Pengaruh gradasi agregat pada daerah campuran terhadap kinerja campuran lapis aspal beton (Laston) menggunakan aspal yang dimodifikasi dengan gondoruke. *[Nama jurnal tidak tersedia]*, 5.
- Silaban, F. (2023). *Rancang bangun cetakan tutup botol model ulir pada mesin injection molding*.
- Sulandari, E., & Lestyowati, Y. (2024). Analisis pengaruh sifat volumetrik pada campuran aspal AC-WC. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 5. <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/craneEtiSulandarietal./CRANE/2024>
- Syam, R. F. (2023). *Analisis pengaruh pemanfaatan abu sekam sebagai filler pada campuran aspal beton*.
- Telehala, A. (2023). *Plastik sebagai bahan campuran aspal*.
- Triharso Seno, R. H., & A. E. (2015). *Evaluasi kekuatan perkerasan sisi udara (runway, taxiway, apron) Bandara Juanda dengan metode perbandingan ACN-PCN*.
- Wahidiyati, I. S. N., & Akhmad, P. (2025). *[Judul tugas akhir tidak lengkap]*.

- Wahyudi, F. (2024). *Perencanaan tebal perkerasan lentur pembangunan Jalan Sim pang Bonjol–Batas Kabupaten Lima Puluh Kota (Suliki) Sumatera Barat dengan menggunakan metode Analisa Komponen dan MDPJ 2017*.
- Widharma, I. G. S. (2020). *Sensor suhu dalam telemetri berbasis IoT sistem kendali analog*.