

STUDI KELAYAKAN TEKNIS ABU TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BIO FILLER PADA LAPISAN AC-WC SPESIFIKASI BANDAR UDARA

Riza Yahya Alam^{1*}, Juliana Fisaini², Luthfi Chaliqi Taufiq²

^{1*)} Mahasiswa Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111

²⁾ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111

^{*)}email: riza.b20@mhs.usk.ac.id

Diterima : 26 September 2024
Direvisi : 31 Oktober 2024

Disetujui : 7 November 2024
Diterbitkan : 30 November 2024

Abstract: The surface layer of flexible pavement consists of coarse aggregate, fine aggregate, filler, and asphalt. Typically, the filler material used in flexible pavement is stone dust or cement. Continuous use of cement raises concerns about the depletion of cement supplies in the future. Bio-materials such as coconut shell ash can be an alternative filler due to its abundant waste. This study aims to ensure that coconut shell ash can be used as a filler and to evaluate the Marshall characteristics of asphalt concrete mixtures substituted with coconut shell ash in accordance with Regulation KP 14 of 2021 regarding the Technical Specifications for Airside Facility Works at Airports. The testing was conducted using the Marshall method with aggregate gradation and Marshall characteristics for aircraft weighing more than 60,000 lbs, as per Regulation KP 14 of 2021. Coconut shell ash was substituted in varying percentages of 2%, 3.5%, 5%, 25%, 50%, and 100% against the filler. The results showed that the higher the percentage of coconut shell ash substituted, the stability and flow of the mixture increased. However, the resulting flow values were too high, exceeding the allowable limit (2 mm to 5 mm), which could cause the pavement to become wavy when applied. Therefore, only a 2% substitution of coconut shell ash met all the Marshall characteristic parameters, making it the most suitable option for use in asphalt concrete mixtures.

Keywords: runway, bio material, coconut shell ash, filler, marshall characteristics

Abstrak: Lapisan permukaan perkerasan lentur tersusun dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Umumnya, material *filler* yang digunakan pada perkerasan lentur berupa abu batu atau semen. Penggunaan semen secara terus-menerus dikhawatirkan dapat mengakibatkan menipisnya jumlah semen di masa yang akan datang. Bio-material seperti abu tempurung kelapa dapat menjadi opsi *filler* karena limbahnya yang melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk memastikan abu tempurung kelapa dapat digunakan sebagai *filler* serta mengkaji karakteristik Marshall campuran aspal beton yang disubstitusi abu tempurung kelapa sesuai Peraturan KP 14 Tahun 2021 tentang Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall dengan gradasi agregat dan karakteristik Marshall untuk pesawat dengan bobot lebih dari 60.000 lbs sesuai Peraturan KP 14 Tahun 2021. Abu tempurung kelapa disubstitusikan dalam variasi kadar 2%, 3,5%, 5%, 25%, 50%, dan 100% terhadap *filler*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu tempurung kelapa yang disubstitusikan, stabilitas dan *flow* campuran meningkat. Namun, nilai *flow* yang dihasilkan terlalu tinggi, melebihi batas yang diperkenankan (2 mm hingga 5 mm), sehingga berpotensi menyebabkan perkerasan mudah bergelombang saat diaplikasikan. Oleh karena itu, hanya kadar abu tempurung kelapa sebesar 2% yang memenuhi semua parameter karakteristik Marshall, menjadikannya pilihan yang paling sesuai untuk digunakan dalam campuran aspal beton.

Kata Kunci: landas pacu, bio material, abu tempurung kelapa, *filler*, karakteristik marshall

1. PENDAHULUAN

Material lapisan permukaan perkerasan

landasan pacu adalah *Asphalt Concrete* (AC) yang tersusun dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal [1]. Pemilihan agregat, *filler*, dan aspal

berpengaruh dalam perencanaan perkerasan lapisan landas pacu. *Filler* pada perkerasan aspal beton berfungsi sebagai pengisi rongga campuran sehingga dapat mengurangi nilai volume pori dan meningkatkan kepadatan. Umumnya material *filler* yang dapat digunakan pada perkerasan landas pacu berupa abu batu, semen atau debu batu kapur, dan mineral lainnya yang lolos saringan no. 200.

Menurut Asosiasi Semen Indonesia (2021), total konsumsi semen di dalam negeri sejak awal tahun 2021 sampai Oktober sebesar 53,49 juta ton, atau naik 5,5 persen dibandingkan periode yang sama tahun lalu [2]. Penggunaan semen terus menerus dikhawatirkan mengakibatkan menipisnya jumlah semen di masa yang akan datang. Perlu adanya alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan pemakaian semen sebagai *filler* pada perkerasan aspal beton.

Banyak pihak kini mulai memperhatikan dampak lingkungan dari suatu produk atau material setelah produk tersebut tidak lagi digunakan. Kesadaran ini muncul karena limbah yang dihasilkan dari produk atau material tersebut dapat memberikan efek negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Penggunaan bahan alami (bio material) sering menjadi pilihan karena mudah terurai secara hayati (biodegradable) atau dibakar tanpa menambah jumlah karbon di atmosfer [3]. Penggunaan bio material seperti abu tempurung kelapa masih jarang digunakan dalam dunia konstruksi dan hanya menjadi limbah pertanian [4]. Indonesia adalah negara penghasil kelapa terbanyak di dunia dengan jumlah produksi sebesar 17,2 juta ton [5]. Bio Material seperti abu tempurung kelapa dapat menjadi opsi *filler* dalam perkerasan jalan karena limbahnya yang sangat melimpah, sehingga dapat dimanfaatkan [6]. Mashuri (2006), Abu tempurung kelapa memiliki unsur Carbon nonPolar sebesar 91% yang mirip seperti kandungan pada aspal [7]. Abu tempurung kelapa juga mengandung senyawa lignin yang tinggi sehingga dapat meningkatkan daya tahan terhadap abrasi [8]. Abu tempurung kelapa juga memiliki nilai yang lebih murah dan mudah didapatkan, sehingga dapat menekan biaya pada pekerjaan perkerasan *runway*.

Mashuri (2008) pernah melakukan penelitian dengan menggunakan abu tempurung kelapa dalam campuran beton aspal, kinerja aspal terbaik yang didapat ada pada kandungan 2% dengan tumbukan 2 x 75 kali [9]. Yacob dan Wesli (2017) Juga pernah melakukan penelitian karakteristik Marshall campuran aspal beton yang disubstitusi

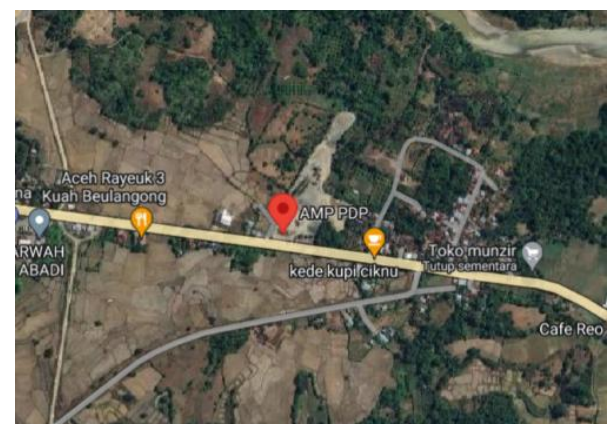
abu tempurung kelapa dan abu batu kapur. Hasil menunjukkan stabilitas meningkat drastis dengan penggunaan abu tempurung kelapa yang banyak [10]. A'yuni dkk (2023) juga melakukan penelitian dengan mensubstitusi abu tempurung kelapa ke dalam campuran AC-WC sebagai *filler* dan hasil yang diperoleh penggunaan abu tempurung kelapa sebesar 3,5% pada *filler* dengan KAO 6,3% memenuhi spesifikasi [11].

Penulis mengambil persentase Abu tempurung kelapa 2%, 3,5%, 5%, 25%, 50%, dan 100% sebagai *filler* campuran perkerasan AC-WC landas pacu berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Mashuri (2008), Yacob dan Wesli (2017), dan A'yuni, dkk (2023). Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode marshall dengan gradasi agregat sesuai dengan Peraturan KP 14 Tahun 2021. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi untuk digunakan dalam campuran perkerasan landas pacu sebagai *filler* dan bagaimana karakteristik Marshall campuran perkerasan landas pacu yang disubstitusi abu tempurung kelapa menurut Peraturan KP 14 Tahun 2021. Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan campuran perkerasan landas pacu, serta mengurangi limbah tempurung kelapa terbuang sia-sia

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini berisi objek penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, metode pengumpulan pengolahan data dan analisis data.

Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 1 Lokasi pengambilan agregat

Material agregat diambil dari PT. Perdana Dinamika Persada, Indrapuri, Aceh Besar, lokasi

dapat dilihat pada **Gambar 1**. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya dan Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala selama 5 bulan dimulai dari bulan Februari hingga bulan Juni.

Metode Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Data primer yang diperoleh dengan cara pengujian material pencampur aspal beton berupa sifat fisis agregat, aspal, semen, dan abu tempurung kelapa, hasil pengujian Marshall, dan metode *overlapping* untuk menentukan nilai KAO.
2. Data sekunder berupa angka koreksi alat uji, angka koreksi benda uji catatan yang diperoleh dari buku dan laporan dari sumber luar yang digunakan dalam perhitungan penelitian ini.

Peraturan KP 14 Tahun 2021

Campuran beton aspal perkerasan jalan menggunakan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga, sedangkan campuran beton aspal untuk landas pacu menggunakan Peraturan KP 14 Tahun 2021 dalam pembangunannya [12]. Peraturan KP 14 Tahun 2021 adalah spesifikasi teknis yang mengatur pembangunan konstruksi bandar udara di sisi udara yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan. Peraturan ini dapat dijadikan salah satu pedoman dalam merencanakan Rencana Kera dan Syarat-Syarat (RKS) atau Rencana Teknis Terinci (RTT) untuk pembangunan dan pengembangan fasilitas bandar udara sisi udara [13].

Peraturan KP 14 Tahun 2021 ini mengutip referensi dari Federal Aviation Administration (FAA), lembaga penerbangan sipil di Amerika Serikat. Referensi yang diambil meliputi ketentuan agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan kriteria campuran aspal. Perbandingan kriteria campuran beton aspal untuk lapis AC-WC menurut Peraturan KP 14 Tahun 2021 dengan Peraturan Direktorat Bina Marga 2018 dan Federal Aviation Administration (FAA) dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Uji Syarat *Filler* Abu Tempurung Kelapa

Sebelum digunakan dalam campuran landas pacu, abu tempurung kelapa perlu dilakukan pengujian persyaratan material *filler* seperti yang telah dilampirkan dalam **Tabel 2**. Jika variasi abu tempurung kelapa tidak lolos persyaratan material,

maka variasi tersebut tidak digunakan dalam campuran landas pacu dan akan dilakukan evaluasi ulang untuk persentase abu tempurung kelapa sebagai *filler*.

Tabel 1 Perbandingan karakteristik marshall pada KP 14 Tahun 2021, FAA, dan Bina Marga 2018

Karakteristik Marshall	KP 14 Tahun 2021	FAA	Bina Marga 2018
Jumlah Tumbukan	75	75	75
Stabilitas (Kg)	> 980	975,2	800
Flow (mm)	2-4	-	2-4
VIM (%)	3-5	3-5	3-5
VMA (%)	> 15	> 15	>15
VFA (%)	-	-	>65
TSR (%)	-	< 80	-
APA (mm)	-	< 10	-

Sumber: KP 14 Tahun 2021, FAA, dan Bina Marga 2018 (Revisi 2) [13] [14] [15]

Tabel 2 Spesifikasi *filler* landas pacu

Pengujian	Persyaratan
Lolos saringan NO. 16	100%
Lolos saringan NO. 30	97-100%
Lolos saringan NO. 50	95-100%
Lolos saringan NO. 200	70-100%
Indeks Plastisitas	< 4 atau Non Plastis

Sumber: ASTM D242

Perencanaan Campuran Landas Pacu AC-WC

Gradasi yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan rancangan gradasi 2 (AC-WC) standar Peraturan KP 14 Tahun 2021. Agregat yang tertahan pada setiap saringan ditimbang untuk menentukan persentase berat masing-masing ukuran saringan dan berat totalnya. Kadar aspal acuan yang digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum bervariasi, dengan dua kadar aspal lebih rendah dari kadar tengah, dan dua kadar lainnya lebih tinggi. Jika kadar aspal tengah adalah Pb%, maka variasinya adalah (Pb-1)%, (Pb-0,5)%, Pb%, (Pb+0,5)%, dan (Pb+1)%. Kadar aspal acuan ditentukan dengan **Persamaan (1)**. [16]

$$KAA = 0,0359(CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%filler) + K \quad (1)$$

KAA adalah kadar aspal acuan atau kadar aspal rencana yang menjadi acuan kadar aspal untuk benda uji penentuan KAO. %CA adalah

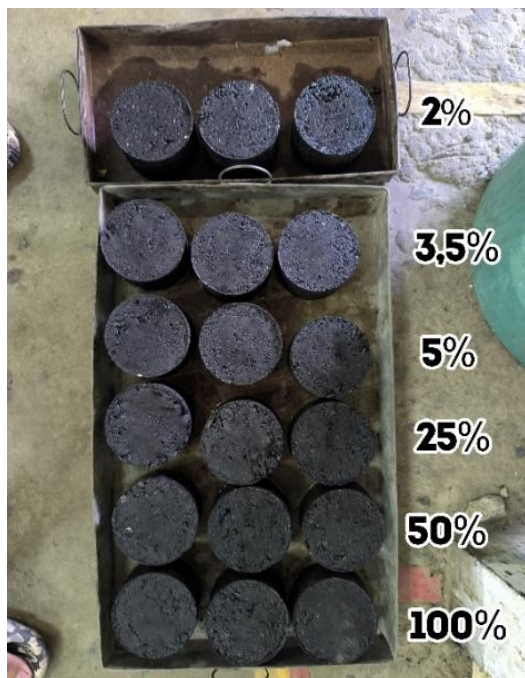
persentase agregat tertahan saringan No. 4. %FA adalah persentase agregat tertahan saringan no. 200. %filler adalah agregat yang tidak tertahan saringan No. 200. K adalah nilai konstanta yang memiliki rentang 0,5 – 1,0.

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji dibuat sesuai prosedur dan spesifikasi landas pacu AC-WC menurut Peraturan KP 14 Tahun 2021. Material benda uji dicampurkan pada suhu 155°C dan dipadatkan pada suhu 145°C. Dokumentasi benda uji dapat dilihat pada **Gambar 2**. Pengujian menggunakan alat Marshall pada benda uji untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow*. Nilai VIM dan VMA didapatkan dari perhitungan berat benda uji. Rekapitulasi jumlah benda uji penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Rekapitulasi benda uji penelitian

Jenis Benda Uji	Jumlah
Benda Uji Penentuan KAO	15
Benda Uji Perkerasan Landas Pacu Substitusi Abu Tempurung Kelapa	18
Total	33



Gambar 2 Benda uji substitusi abu tempurung kelapa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Variasi Abu Tempurung Kelapa Spesifikasi Filler

Pemeriksaan sifat fisis abu tempurung kelapa

meliputi analisis saringan dan indeks plastisitas. Indeks plastisitas terdiri dari pengujian batas cair dan pengujian batas plastis. Pada pengujian batas cair dengan alat casagrande, semua variasi sampel abu tempurung kelapa memiliki jumlah ketukan kurang dari 20 sehingga tidak dapat ditentukan nilai batas cairnya. Menurut ASTM D4318, jika nilai batas cair ataupun batas plastis tidak bisa ditentukan, maka sampel dianggap bersifat non-plastis [17]. Oleh karena itu, indeks plastisitas semua kadar abu tempurung kelapa disimpulkan bersifat non-plastis dan tak terukur nilainya. Dokumentasi pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Pengujian batas cair abu tempurung kelapa

Abu tempurung kelapa dibakar hingga menyerupai hancur menjadi debu. Tidak ada aturan khusus mengenai ukuran suhu dan durasi pembakarannya. Perlakuan khusus diberikan kepada abu tempurung kelapa yang tidak memenuhi ukuran spesifikasi analisis saringan dengan cara ditumbuk atau dihaluskan [18]. Dalam penelitian ini, abu tempurung kelapa yang digunakan adalah fraksi yang telah melewati saringan no. 200. Hasil pengujian sifat fisis abu tempurung kelapa dilampirkan pada **Tabel 4**.

Pemeriksaan Sifat Fisis Material

Sebelum melakukan pencampuran material, perlu dilakukan pengujian sifat fisis untuk mengetahui apakah material tersebut telah memenuhi spesifikasi. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal dan agregat dapat dilihat pada **Tabel 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7**.

Dari hasil pengujian sifat fisis agregat kasar, diketahui bahwa agregat tidak memenuhi syarat pengujian kepipihan dan kelongjongan di **Tabel 6**. Dalam penelitian ini agregat tetap digunakan karena menurut Aminsyah (2010) agregat tetap bisa digunakan karena tidak terlalu mempengaruhi nilai stabilitas jika kepipihan dan kelongjongannya masih di bawah 43% [19].

Tabel 4 Hasil pengujian sifat-sifat fisis abu tempurung kelapa

Pengujian	Persyaratan	Hasil
Berat Jenis	-	1,303
Lolos saringan No. 16	100%	92,9%
Lolos saringan No. 30	97-100%	70,6%
Lolos saringan No. 50	95-100%	85,95%
Lolos saringan No. 200	70-100%	81,2%
Indeks Plastisitas	< 4 atau non-plastis	Non-plastis (tak terukur)

Tabel 5 Hasil uji sifat fisis aspal

Pengujian	Standar	Syarat	Satuan	Hasil
Penetrasi	ASTM D5	60-70	mm	63,4
Titik lembek	ASTM D36	Min. 48	°C	50,0
Daktilitas	ASTM D113	Min. 100	cm	>140
Berat jenis	ASTM D70	1,01–1,06	Gr/cm ³	1,029

Tabel 6 Hasil uji sifat fisis agregat halus

Pengujian	Standar	Syarat	Satuan	Hasil
Berat jenis	SNI 1970-2008	> 2,5	gr/cm ³	2,813
Batas cair	ASTM D4318	Non Plastis		Nonplastis
Indeks Plastisitas	ASTM D4319	Non Plastis		Nonplastis
Kandungan Lempung	ASTM C142	< 0,3	%	0,28
Nilai setara pasir	ASTM D2149	> 45	%	82,5
Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	> 45	%	50,04

Tabel 7 Hasil uji sifat fisis agregat kasar

Pengujian	Standar	Syarat	Satuan	Hasil
Berat jenis	SNI 1969-2008	> 2,5	gr/cm ³	2,805
Berat isi agregat	AASHTO T-19-74	> 1	kg/cm	1,435
Abrasi (<i>Los Angeles</i>)	SNI 2417:2008	> 25	%	15,84
Kandungan Lempung	ASTM C142	< 0,3	%	0,19
Partikel Pecah 1 bidang	ASTM D5821	> 85	%	91,57
Partikel Pecah 2 bidang	ASTM D5821	> 75	%	84,84
Indeks kelongjongan	ASTM D-4791	< 8	%	21,62
Indeks kepipihan	ASTM D-4791	< 8	%	19,93

Pemeriksaan Gradasi

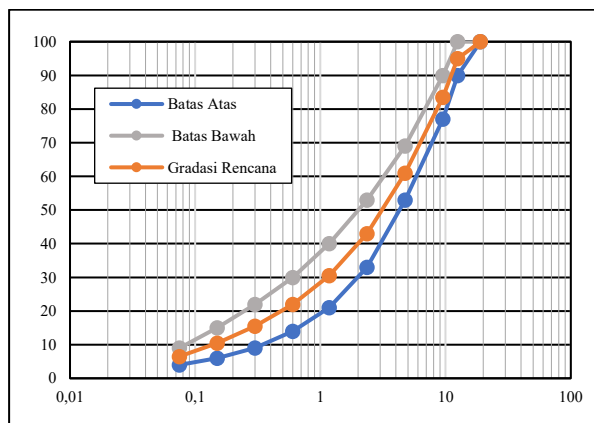
Terdapat perbedaan gradasi antara perkerasan beton aspal pada jalan (Peraturan Bina Marga) dan perkerasan beton aspal pada landas pacu (Peraturan Kementerian Perhubungan). Gradasi landas pacu cenderung memiliki agregat yang lebih halus yang bertujuan untuk membuat perkerasan lebih padat. Gradasi agregat halus dari Kementerian Perhubungan senilai 58,5%, sedangkan gradasi agregat halus dari Bina Marga hanya 54,5%. Perbedaan gradasi agregat beton aspal pada jalan dan perkerasan beton aspal pada landas pacu dapat dilihat antara **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

Gradasi agregat diperiksa dengan metode analisis saringan. Hasil pemeriksaan menunjukkan agregat tersebut tidak dapat langsung digunakan dan perlu penyesuaian gradasi terlebih dahulu dengan gradasi rencana sesuai Peraturan KP 14 Tahun 2021 seperti pada **Gambar 4**.

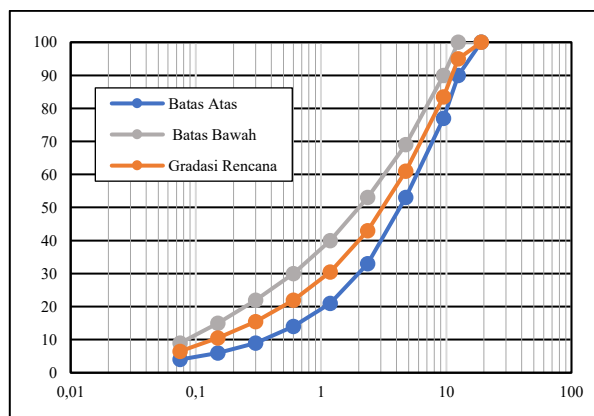
Berdasarkan **Gambar 4**, diperoleh %CA = 37%, %FA = 58,5%, dan %Filler = 4,5%. Konstanta yang digunakan adalah 1, sehingga nilai KAA yang diperoleh dengan menggunakan **Persamaan 1** dapat dilihat pada **Persamaan 2** berikut ini:

$$\begin{aligned}
 KAA &= 0,0359(37) + 0,045(58,5) + 0,18(4,5) + 1 \\
 KAA &= 1,3283 + 2,6325 + 0,81 + 1 \\
 KAA &= 5,7708
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Dari **Persamaan 2**, diperoleh nilai Kadar Aspal Acuan (KAA) adalah 5,7% $\approx$ 6%.



Gambar 4 Gradasi rencana sesuai Peraturan KP 14 Tahun 2021 [13]



Gambar 5 Gradasi rencana sesuai Peraturan Bina Marga 2018 (Revisi 2020)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah nilai KAO didapatkan, benda uji dibuat dengan variasi 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dan dilakukan pengujian Marshall. Setelah pengujian Marshall dilakukan, diperoleh nilai parameter Marshall yang terdiri dari stabilitas, *flow*, VIM, dan VMA. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 8** dan nilai-nilai parameter tersebut dirangkum ke dalam metode *overlapping* yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.

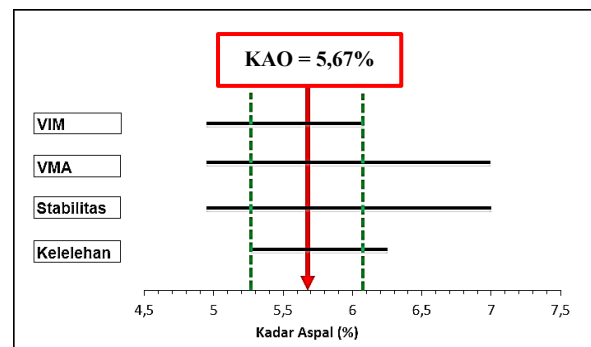
Nilai kadar aspal yang memenuhi spesifikasi dari karakteristik Marshall dipaparkan pada metode *overlapping* yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Nilai batas atas dan bawah rentang kadar aspal yang memenuhi karakteristik Marshall ditentukan terlebih dahulu. Dari **Gambar 4**, nilai batas bawah penentu KAO adalah batas bawah parameter kelelehan dan batas atas nilai penentu KAO adalah batas atas VIM. Untuk mengetahui nilai yang tepat dari batas-batas tersebut, maka dilakukan analisis regresi non linier.

Analisis regresi non linier dihitung dari hasil pengujian kelelehan dan VIM dengan variasi

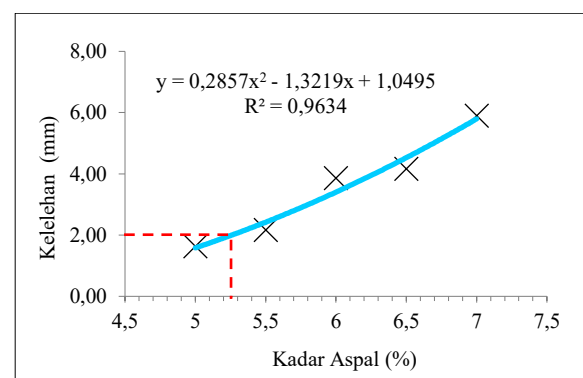
Kadar Aspal Acuan yang diplot pada diagram dengan koordinat Kadar Aspal Acuan (sumbu x) dan parameter kelelehan atau VIM (Sumbu y). Grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter kelelehan dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Tabel 8 Rekapitulasi pengujian marshall penentuan kadar aspal optimum

Karakteristi k Marshall	Kadar Aspal				
	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0 %
Stabilitas (kg)	1101, 8	1264, 8	1400, 9	1170, 5	988, 9
VIM (%)	4,60	4,13	3,00	2,13	1,49
VMA (%)	16,63	17,33	17,45	17,80	18,3 4
Flow (%)	1,63	2,17	3,87	4,17	5,90



Gambar 6 Grafik penentuan KAO

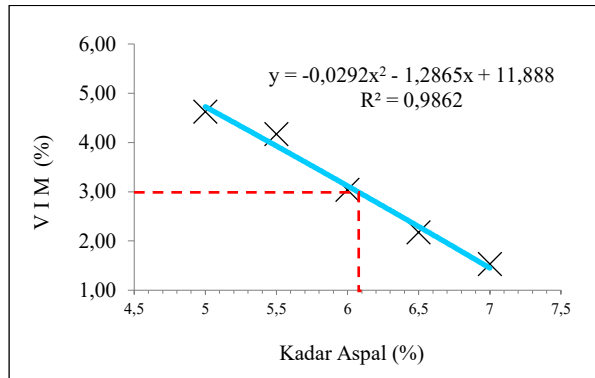


Gambar 7 Hubungan KAA dengan kelelehan

Dari **Gambar 7**, diperoleh persamaan regresi non linier yaitu: $y = 0,2857x^2 - 1,3219x + 1,0495$. Untuk mengetahui persentase kadar aspal pada nilai kelelehan 2mm, dilakukan perhitungan $y=2$ sehingga diperoleh nilai batas bawah Kadar Aspal Optimum adalah 5,26%.

Dari **Gambar 8**, diperoleh persamaan regresi non linier yaitu: $y = -0,0292x^2 - 1,2865x + 11,888$.

Untuk mengetahui persentase kadar aspal pada VIM 3%, dilakukan perhitungan $y=3$ dan diperoleh nilai batas bawah Kadar Aspal Optimum adalah 6,07%.



Gambar 8 Hubungan KAA dengan VIM

Setelah batas bawah dan batas atas diperoleh, nilai-nilai tersebut ditambahkan lalu dibagi 2 untuk mendapat nilai tengahnya atau nilai Kadar Aspal Optimum untuk campuran aspal beton substitusi abu tempurung kelapa.

Batas Bawah (BB) = 5,26

Batas Atas (BA) = 6,07

Nilai KAO = $(BA+BB)/2$
= $(5,26+6,07)/2 = 5,67\%$ (3)

Dari **Persamaan 3**, nilai Kadar Aspal Optimum yang memenuhi semua parameter Marshall adalah 5,67%

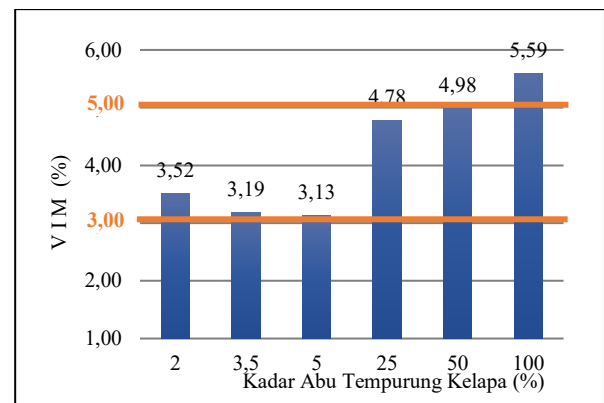
Substitusi Abu Tempurung Kelapa

Abu tempurung kelapa disubstitusi terhadap *filler* dengan persentase 2%, 3,5%, 5%, 25%, 50%, dan 100%. Rekapitulasi hasil pengujian parameter Marshall dengan substitusi abu tempurung kelapa dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9 Hasil rekapitulasi uji marshall dengan substitusi abu tempurung kelapa

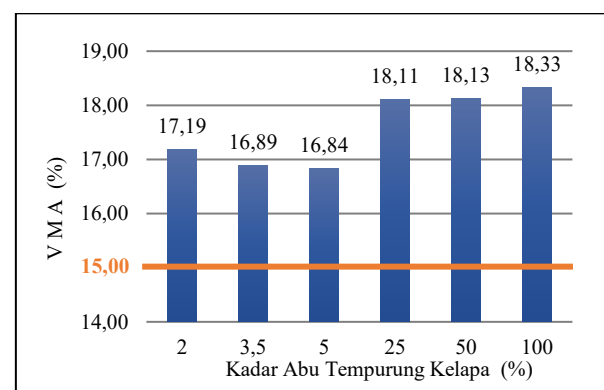
Karakteristik Marshall	Kadar Abu Tempurung Kelapa (%)					
	2	3,5	5	25	50	100
Stabilitas (kg)	1443,0	1548,1	1783,5	1816,6	2193,0	2185,8
VIM (%)	3,52	3,19	3,13	4,78	4,98	5,59
VMA (%)	17,19	16,89	16,84	18,11	18,13	18,33
Flow (mm)	3,70	5,03	5,70	6,43	8,60	11,63

Karakteristik VIM memiliki rentang nilai dari 3% sampai 5%. Jika perkerasan memiliki VIM di bawah 3%, maka perkerasan tersebut memiliki campuran yang terlalu padat yang dapat menyebabkan *bleeding* atau aspal yang keluar dari perkerasan. Sebaliknya, jika perkerasan memiliki nilai VIM lebih besar dari 5% maka rongga pada campuran tersebut terlalu besar sehingga meningkatkan kemungkinan campuran ditembus air yang dapat merusak campuran. [20].



Gambar 9 Pengaruh variasi persentase abu tempurung kelapa terhadap nilai VIM

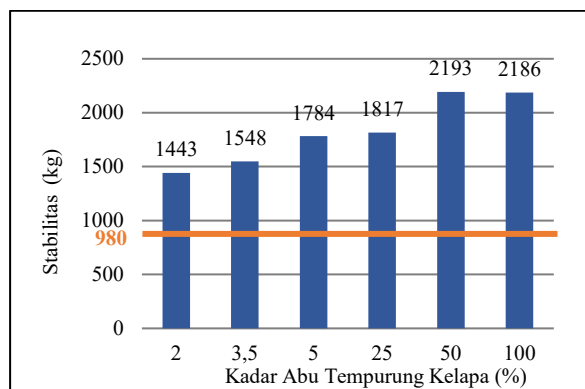
Pada **Gambar 9** dapat dilihat bahwa pada kadar 2%-5%, nilai VIM menurun menunjukkan bahwa semakin ditambahkan abu tempurung kelapa maka semakin padat campuran karena abu tempurung kelapa mengisi rongga. Namun pada kadar abu tempurung kelapa 25-100%, VIM naik yang berarti penambahan abu tempurung kelapa yang terlalu banyak tidak mengisi rongga karena abu tempurung kelapa mengandung carbon non polar yang memiliki sifat saling mengikat hingga menahan *filler* untuk mengisi rongga campuran.



Gambar 10 Pengaruh variasi persentase abu tempurung kelapa terhadap nilai VMA

Rongga pada campuran diisi oleh aspal, sehingga rongga antar agregat pada campuran harus sebanyak mungkin untuk mendapatkan ketebalan perkerasan yang memadai. Campuran yang memiliki nilai VMA <15% cenderung memiliki perkerasan yang tipis sehingga memiliki daya tahan yang rendah. [20]. Pada **Gambar 10** parameter VMA memiliki tren yang sama seperti VIM. Pada persentase substitusi abu tempurung kelapa yang tinggi, carbon non polar yang banyak mempersulit *filler* untuk mengisi rongga, sehingga ruang antar agregat tidak terisi rata.

Perkerasan landas pacu memiliki kriteria nilai stabilitas min. 980 kg. Jika stabilitas campuran perkerasan di bawah 980 kg, maka campuran tersebut tidak sanggup untuk menahan beban lalu lintas pesawat dan dikhawatirkan cepat mengalami kerusakan karena tekanan dari ban pesawat. Pada **Gambar 11** dapat dilihat abu tempurung kelapa mempengaruhi nilai stabilitas. Semakin banyak kadar abu tempurung kelapa di dalam suatu campuran, maka nilai stabilitas semakin meningkat. Pada campuran yang menggunakan *filler* sepenuhnya abu tempurung kelapa, stabilitasnya sedikit menurun namun masih memenuhi spesifikasi.

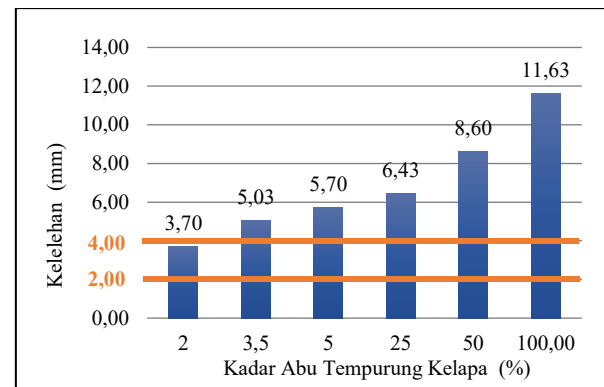


Gambar 11 Pengaruh Variasi Persentase Abu Tempurung Kelapa terhadap Nilai Stabilitas

Nilai *flow* pada suatu campuran harus berada pada angka 2 mm sampai 4 mm. Jika nilai *flow* pada suatu campuran terlalu tinggi atau lebih dari 4 mm, hal itu menunjukkan campuran perkerasan tersebut terlalu plastis dan dapat mudah berubah bentuk saat diberi tekanan. Sebaliknya, jika nilai *flow* terlalu rendah atau kurang dari 2 mm, maka campuran perkerasan tersebut terlalu kaku sehingga mudah retak ketika diberi tekanan.

Sedangkan pada **Gambar 12**, nilai *flow* yang dihasilkan terus meningkat hingga melewati batas

yang diperkenankan. Semakin tinggi kadar abu tempurung kelapa, semakin tinggi pula kandungan carbon dalam suatu campuran. Ini menyebabkan campuran terus saling mengikat ketika diberi tekanan sehingga nilai *flow* yang dihasilkan semakin meningkat. Oleh karena itu, hanya campuran perkerasan dengan substitusi 2% abu tempurung kelapa yang memenuhi spesifikasi dengan nilai *flow* 3,70 mm.



Gambar 12 Pengaruh variasi persentase abu tempurung kelapa terhadap nilai kelelahan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian sifat fisis abu tempurung kelapa yang terdiri dari pengujian indeks plastisitas dan analisis saringan, disimpulkan bahwa abu tempurung kelapa memenuhi spesifikasi *filler* menurut Peraturan KP 14 Tahun dengan perlakuan khusus yaitu ditumbuk/dihaluskan kembali setelah dibakar. Pada campuran aspal beton, parameter stabilitas dan *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar abu tempurung kelapa. *Flow* yang dihasilkan terlalu tinggi sehingga melewati batas yang diperkenankan yaitu 2 mm - 5 mm berpotensi menyebabkan perkerasan mudah bergelombang saat diaplikasikan. Oleh karena itu, hanya kadar 2% abu tempurung kelapa terhadap berat *filler* yang memenuhi semua karakteristik Marshall.

Saran

Hasil dari penelitian menunjukkan abu tempurung kelapa dapat digunakan sebagai *filler* dalam perkerasan landas pacu karena telah memenuhi spesifikasi material *filler* dengan perlakuan khusus seperti ditumbuk agar lebih menghaluskan abu tempurung kelapa. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa ke dalam *filler* dapat meningkatkan nilai *flow* hingga melebihi batas

yang diperkenankan. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan penambahan zat aditif yang dapat menurunkan nilai *flow* agar persentase abu tempurung kelapa yang dapat digunakan dalam campuran perkerasan lebih banyak sehingga penggunaan limbah abu tempurung kelapa lebih banyak pula. Selain itu, disarankan juga untuk dilakukan peninjauan performa terhadap campuran aspal yang disubstitusi abu tempurung kelapa menggunakan metode berbasis kinerja seperti *Wheel Load Tracking* dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yasruddin, "Perencanaan Struktur Perkerasan Landas Pacu Bandar Udara Syamsudin Noor - Banjarmasin," *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 173-191, 2012.
- [2] R. Lestari, "Bisnis.com," *Bisnis.com*, 15 November 2021. [Online]. Available: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20211115/257/1466315/konsumsi-semen-nasional-naik-55-persen-pada-oktober-2021>. [Accessed 17 December 2023].
- [3] A. Abubakar and M. S. Abubakar, "Exploratory Study of Coconut Shell as Coarse Aggregate in Concrete," *Journal of Engineering & Applied sciences*, vol. 3, pp. 60-66, 2011.
- [4] L. Kumar, K. K. Pandey and S. Khan, "Use of Coconut Shell Ash as Aggregates," *International Journal of Research in Engineering and Social Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 15-19, 2017.
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "Coconut Production by Country," UN, 2024.
- [6] N. Utomo and C. F. S. Romadlon, "Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Material Pengisi Pada Campuran Perkerasan Jalan," *Envirotek*, vol. 11, no. 1, pp. 59-65, 2019.
- [7] Mashuri and M. H. Maricar, "Sifat-Sifat Mekanis Aspal Yang Ditambahkan Serbuk Arang Tempurung Kelapa," *Mektek*, vol. 8, no. 1, pp. 43-48, 2006.
- [8] P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis*, Burlington: Elsevier Inc., 2010.
- [9] Mashuri, "Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Karakteristik Campuran Beton Aspal," *Mektek*, vol. X, no. 1, pp. 51-60, 2008.
- [10] M. Yacob and W. , "Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton AC-BC," *Teras Jurnal*, vol. 7, no. 1, pp. 213-222, 2017.
- [11] H. E. P. A'yuni and a. Widayanti, "Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Aspal Lapis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course)," *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, vol. 1, no. 1, pp. 107-119, 2023.
- [12] D. Az-Zahra and S. Sukirman, "Banding Nilai Parameter Marshall Perkerasan AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 1 dan KP 14 Tahun 2021," *FSTP*, pp. 591-596, 2023.
- [13] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan, "Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara," Jakarta, 2021.
- [14] Federal Aviation Administration, "Standard Specifications for Construction of Airports," 2018.
- [15] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)," 2020.
- [16] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*, Bandung: Granit, 2016.
- [17] ASTM International, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils," 17 April 2018. [Online]. Available: <https://www.astm.org/standards/d4318>. [Accessed 6 March 2024].
- [18] I. S. M. Saleh and M. Isya, "Pengaruh Substitusi Polystyrene (PS) dan Abu Arang Tempurung Kelapa Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 3, pp. 637-646, 2018.
- [19] M. Aminsya, "Pengaruh Kepipihan dan Kelonjongan Agregat Terhadap Perkerasan Lentur Jalan Raya," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 23-36, 2010.
- [20] Asphalt Institute, "MS-2 Asphalt Mix Design Methods," USA, 2014.