

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI CPHMA–SEMI KAKU UNTUK PERKERASAN JALAN LALU LINTAS BERAT DI DAERAH TERPENCIL

Fransiskus Sitorus¹, Pio Ranap Tua Naibaho^{1*}, Madi Hermadi²

^{1*)} Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta.

Email Penulis Korespondensi : pioranaptua@jagakarsa.ac.id

Nomor HP Penulis Korespondensi : 085262920493

²⁾ Balai Bahan Jalan dan Institut Teknologi Garut, Jl. AH Nasution No 264 Bandung 40293 dan Jl Mayor Syamsu nomor 01 dan 02 Garut 44150

ABSTRACT

In many remote areas, roads are subjected to heavy traffic, such as access routes to mining sites, agricultural production centers, and ports. However, constructing conventional hot-mix asphalt pavements in these regions is often constrained by the absence of Asphalt Mixing Plants (AMPs). This study presents the development of Cold Paving Hot Mix Asbuton–Semi-Rigid (CPHMA–Semi-Rigid), a cold-laid Asbuton mixture designed with approximately 20% air voids that are subsequently filled with cement mortar to form a dense semi-rigid pavement layer. Marshall testing was conducted at a testing temperature of 60 °C after curing periods of 4, 7, and 14 days. The Marshall characteristics, including stability, flow, volumetric properties (VIM, VMA, and VFB), and residual stability, were evaluated and compared with the requirements for modified hot-mix asphalt specified in the General Specifications for Highways (Bina Marga 2018 Revision 2). The results showed that Marshall stability increased from 1,487 kg after 4 days to 1,570 kg after 7 days and 2,318 kg after 14 days, all exceeding the minimum specification of 1,000 kg. The mixture also exhibited satisfactory volumetric characteristics and acceptable flow values, although residual Marshall stability remained below the specified requirement. These findings indicate that CPHMA–Semi-Rigid has the potential to be applied as a pavement alternative for heavy-traffic roads in remote areas based on its Marshall performance. In addition, the dense mortar-filled structure is expected to reduce water infiltration, although permeability performance was not directly evaluated in this study.

Keyword: CPHMA–Semi-Rigid, Heavy Traffic, Labor Intensive, Local Materials, Remote Area.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan merupakan kebutuhan yang sangat vital sebagai penunjang utama dinamika dan aktivitas perekonomian, baik di pusat maupun di daerah, termasuk di daerah terpencil, pulau-pulau kecil, dan pulau terluar. Jalan juga menciptakan *multiplier effects* bagi perekonomian dengan menghubungkan pusat produksi, distribusi, dan pemasaran. Oleh sebab itu, ketersediaan jalan yang baik, aman, dan nyaman di semua daerah sangat diperlukan.

Jalan harus dirancang sesuai dengan beban lalu lintas yang dilayani. Di daerah terpencil masih banyak jalan yang melayani lalu lintas berat, seperti akses menuju kawasan pertambangan, pelabuhan, dan sentra produksi pertanian. Namun pembangunan jalan dengan campuran beraspal panas maupun beton semen sering terkendala karena memerlukan *Asphalt Mixing Plant* (AMP) atau batching plant yang umumnya tidak tersedia di daerah tersebut. Akibatnya, pembangunan jalan dengan mutu yang sesuai menjadi kurang ekonomis dan sulit dilaksanakan.

Perkerasan jalan dari campuran beraspal panas maupun dari beton semen tidak dapat diaplikasikan untuk lalu lintas berat di daerah terpencil karena untuk memenuhi standar mutu mengharuskan adanya alat *Batching Plant*. Kedua alat tersebut tidak ekonomis di bangun di daerah terpencil yang umumnya memiliki sedikit proyek/pekerjaan jalan karena biaya penyediaannya tidak sebanding dengan proyek pekerjaan yang ada.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dikembangkan suatu teknologi pembangunan dan pemeliharaan perkerasan jalan dengan lalu lintas berat yang dapat diaplikasikan di daerah terpencil karena tidak memerlukan ketersediaan *Batching Plant*. Untuk maksud tersebut telah dilakukan pengembangan teknologi perkerasan jalan *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) menjadi *Cold Paving Hot Mix Asbuton* Semi Kaku atau disebut juga CPHMA–Semi Kaku sebagaimana yang disampaikan pada tulisan ini.

CPHMA adalah teknologi perkerasan jalan campuran beraspal panas asbuton yang dibuat sedemikian rupa, dengan membuat gradasi campuran mendekati semi seragam (dengan merujuk pada gradasi *Cold Mix Dense Graded Asphalt Emulsion*, DEGEM) dan aspal diberi pelunak permanen ataupun temporer sehingga dapat diaplikasikan (dihampar dan dipadatkan) secara dingin pada temperatur udara. Meskipun CPHMA adalah campuran beraspal panas Asbuton yang dalam produksinya harus menggunakan AMP, namun produk CPHMA dapat diangkut ke tempat yang jauh atau daerah terpencil yang tidak memiliki AMP tanpa khawatir terjadi penurunan temperatur campuran karena waktu pengangkutan yang lama karena pelaksanaan penghamparan dan pemadatannya dilakukan secara dingin (pada temperatur udara) [1].

Penelitian yang menggunakan bahan lokal sudah dilakukan, campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) yang menggunakan 100% laterit sebagai pengganti agregat memiliki performa unggul dalam hal kekakuan, stabilitas, dan pengisian aspal [2]. Hal ini menjadikan campuran tersebut sangat sesuai untuk perkerasan jalan yang membutuhkan ketahanan terhadap beban tinggi. Hasil uji Marshall dan nilai densitas penolakan (*refusal density*) mengindikasikan bahwa penggunaan agregat lokal dapat memberikan stabilitas dan kepadatan yang cukup untuk mendukung lalu lintas berat, sehingga relevan sebagai rujukan dalam pengembangan teknologi CPHMA–Semi Kaku, yang bertujuan menghadirkan perkerasan padat karya berbahan lokal di daerah terpencil. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa modifikasi aspal dengan bahan tambahan termoplastik seperti limbah botol PET mampu meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dan menurunkan *flow*, sehingga campuran menjadi lebih kaku dan tahan terhadap deformasi [3]. Prinsip peningkatan kekakuan melalui material tambahan ini menjadi relevan dengan pendekatan CPHMA–Semi Kaku, yang berupaya memperkuat struktur campuran asbuton melalui pengisian rongga udara dengan pasta semen. Sejalan dengan upaya pemanfaatan bahan lokal untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan konstruksi, penelitian penggunaan material lokal seperti sabut kelapa sebagai substitusi parsial agregat kasar pada beton K-175 dapat meningkatkan efisiensi biaya sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap material impor [4]. Berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi material lokal berpotensi meningkatkan kinerja perkerasan jalan, namun belum secara khusus mengembangkan teknologi CPHMA menjadi perkerasan semi-kaku.

Pelaksanaan CPHMA secara dingin juga menyebabkan CPHMA dapat dilaksanakan secara manual dan padat karya sebagaimana tampak pada **Gambar 1** karena waktu pengerjaan tidak dibatasi oleh temperatur seperti halnya pada pelaksanaan campuran beraspal panas yang harus pada temperatur tinggi (di atas temperatur udara). Selain itu, keunggulan CPHMA dibanding perkerasan jalan beraspal lainnya adalah karena menggunakan aspal alam Asbuton seperti tampak pada **Gambar 2** sebagai bahan pengikat pengganti aspal minyak impor maka CPHMA memiliki kandungan lokal yang tinggi dengan nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) 77,52 %.



Gambar 1. Pelaksanaan CPHMA Secara Manual dan Padat Karya



Gambar 2. Deposit Bahan Lokal Aspal Alam Asbuton di Pulau Buton

Namun demikian CPHMA memiliki kelemahan yaitu kekuatannya lebih rendah dari *Hot Mix* sehingga hanya sesuai digunakan sebagai perkerasan pada jalan dengan lalu lintas ringan dengan beban kendaraan di bawah 4 juta ESAL berdasarkan Permen PUPR No 18/PRT/M/2018 [5], sebagaimana tampak pada **Tabel 1**. Untuk penggunaan di jalan nasional yang umumnya dengan lalu lintas di atas 4 juta ESAL, CPHMA hanya dapat digunakan untuk keperluan tambalan saja.

Tabel 1. Kriteria Penggunaan Jenis dan Teknologi Asbuton

No.	Jenis Asbuton		Jenis Teknologi	Kelas Lalu Lintas Jalan						Alat Khusus
				I	II	III	IV	V		
1.	Asbuton Butir	B 5/20	Campuran Panas	-	√	√	-	-	-	
		B 50/30	Campuran Panas	-	-	√	√	√	Asbuton Feeder System	
			CPHMA	-	-	-	√	√	-	
			LPMA	-	-	-	√	√	Lump Breaker	
			Butur Seal	-	-	-	-	√	Lump Breaker	
2.	Asbuton Pracampur		Campuran Panas	-	√	√	-	-	Pengaduk aspal	
3.	Asbuton Murni		Campuran Panas	-	-	√	√	√	-	

Catatan:

a) Kelas lalu lintas jalan kumulatif selama umur rencana: I = Lalu lintas >30 Juta ESAL; II = Lalu lintas 10-30 Juta ESAL; III = Lalu lintas 4 - 10 Juta ESAL, IV = Lalu lintas 0,1 - 4 Juta ESAL, V = Lalu lintas < 0,1 Juta ESAL.

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa CPHMA standar masih direkomendasikan untuk jalan dengan lalu lintas ringan sehingga diperlukan pengembangan teknologi agar dapat digunakan pada ruas jalan dengan lalu lintas berat.

Perkerasan semi kaku, yang menjadi rujukan dalam pengembangan teknologi CPHMA–Semi Kaku agar dapat digunakan untuk lalu lintas berat pada pengembangan ini, pertama kali dikenal dengan nama *grouted macadam* yang dikembangkan di Perancis pada tahun 1960-an oleh perusahaan konstruksi Jean Lefebvre Enterprises sebagai alternatif untuk penghematan biaya dari *Portland Cement Concrete* [6]. Perkerasan semi kaku ini dibuat dengan memproduksi kerangka berupa campuran beraspal bergradasi terbuka (*Open Graded Asphalt*, OGA) dan mengisi rongganya dengan pasta semen (*cementitious grout*). Hasil dari perpaduan campuran beraspal dengan pasta semen tersebut mengkombinasikan fleksibilitas dari beton aspal dan kekakuan dari beton semen yaitu campuran bersifat fleksibelitas namun memiliki daya dukung beban yang tinggi [7].

Perkerasan semi kaku merupakan jenis perkerasan jalan yang sangat baik untuk dikembangkan karena mempunyai nilai stabilitas dan keawetan tinggi, yang memungkinkan digunakan untuk pelataran parkir kendaraan berat dan melayani lalu lintas tinggi [8]. Sedangkan, perkerasan semi kaku telah menjadi semakin populer selama bertahun-tahun secara internasional sebagai lapisan permukaan perkerasan seperti persimpangan jalan, apron bandara, terminal bus, dan tempat bongkar muat [9]. Sejalan dengan itu, Jepang telah menerapkan perkerasan semi kaku di tempat penyeberangan jalan raya, terminal bus, pintu tol, pemberhentian bus, dan pelabuhan penyeberangan kapal laut [10].

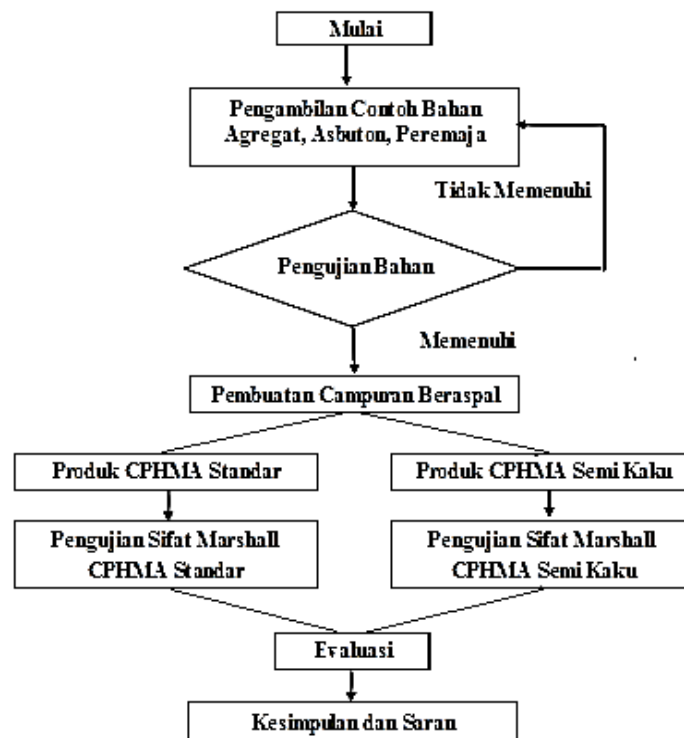
Berdasarkan berbagai penelitian tersebut dapat diketahui bahwa teknologi CPHMA telah dikembangkan untuk mendukung pelaksanaan perkerasan secara dingin, sedangkan teknologi perkerasan semi-kaku telah terbukti memiliki kinerja yang baik pada lalu lintas berat. Namun demikian, penelitian mengenai pengembangan CPHMA menjadi CPHMA–Semi Kaku yang tetap mempertahankan kemudahan pelaksanaan di daerah terpencil sekaligus memenuhi persyaratan perkerasan untuk lalu lintas berat masih sangat terbatas. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mengevaluasi karakteristik Marshall CPHMA–Semi Kaku sebagai alternatif teknologi perkerasan jalan pada kondisi tersebut.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi karakteristik *Marshall* CPHMA–Semi Kaku sebagai alternatif perkerasan jalan untuk lalu lintas berat di daerah terpencil. Evaluasi dilakukan berdasarkan karakteristik Marshall yang meliputi stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, dan stabilitas Marshall sisa pada umur perawatan 4, 7, dan 14 hari dengan temperatur pengujian 60 °C. Hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 sebagai dasar penilaian kinerja CPHMA–Semi Kaku.

2. METODE

Penelitian ini bertujuan mengembangkan teknologi Cold Paving Hot Mix Asbuton Semi Kaku (CPHMA–Semi Kaku) dengan merancang campuran CPHMA bergradasi terbuka sehingga memiliki rongga udara (Void in Mix/VIM) sekitar 20%, yang selanjutnya diisi menggunakan pasta semen (grout). Rongga udara yang tinggi diperlukan agar pasta semen dapat mengisi ruang antar agregat secara optimal dan setelah proses hidrasi membentuk struktur semi-kaku yang memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan CPHMA standar. Karakteristik campuran dievaluasi melalui pengujian Marshall yang meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, Marshall Quotient (MQ), dan stabilitas Marshall sisa. Pengujian dilakukan pada umur 4, 7, dan 14 hari. Temperatur pengujian sekitar 30°C digunakan untuk mengevaluasi karakteristik CPHMA sebelum pengisian pasta semen, sedangkan temperatur 60°C digunakan untuk mengevaluasi karakteristik CPHMA–Semi Kaku setelah pasta semen mengeras sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Secara terperinci, kajian ini dilakukan di laboratorium dengan tahapan sesuai bagan alir yang ditujukan pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3. Bagan Alir Tahapan Pengkajian CPHMA–Semi Kaku

Tahapan pengkajian yang tertera pada bagan alir **Gambar 3** di atas dapat dijelaskan yang sabagai berikut:

1. Pengambilan Contoh Bahan

Pengambilan contoh bahan dilakukan terhadap bahan agregat di *Quarry* Subang, Asbuton B 50/30 dan peremaja dari PT. Cipta Wahana Persada di Surabaya. Pasta semen (grout) yang digunakan terdiri atas semen *Portland* Tipe I, air, dan *superplasticizer MasterGlenium ACE®* 8595. Penambahan *superplasticizer* dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan alir (*flowability*) pasta semen sehingga mampu mengisi rongga-rongga pada campuran CPHMA secara merata tanpa meningkatkan kebutuhan air secara berlebihan.

2. Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan terhadap agregat dan asbuton, jika memenuhi ketentuan, maka kegiatan dilanjutkan ke tahap berikutnya dan jika tidak maka dilakukan pengambilan contoh kembali. Bahan lainnya yaitu peremaja, semen, dan super plastizizer tidak dilakukan pengujian mutu karena sudah merupakan satandar pabrik – pabrik. Semen *Portland* dan *superplasticizer* tidak diuji di laboratorium karena merupakan produk pabrikan yang telah memenuhi spesifikasi mutu.

3. Pembuatan Campuran Beraspal

Pembuatan campuran beraspal dilakukan terhdap CPHMA standar dan CPHMA–Semi Kaku dengan merujuk pada formula sesuai rekomendasi produsen CPHMA PT. Cipta Wahana Persada.

a) Produk CPHMA Standar

Terhadap produk CPHMA Standar dibuat sebanyak 36 benda uji *Marshall*. Pengujian dilakukan menggunakan tiga benda uji untuk setiap kondisi pengujian sehingga nilai yang dilaporkan merupakan nilai rata-rata dari tiga spesimen. Pengujian dilakukan pada temperatur udara ($\pm 30^{\circ}\text{C}$) dengan umur perawatan 4, 7, dan 14 hari sebagai data pembanding terhadap karakteristik CPHMA–Semi Kaku.

b) Produk CPHMA–Semi Kaku

Terhadap produk CPHMA–Semi Kaku dibuat sebanyak 36 benda uji *Marshall*. Pengujian dilakukan menggunakan tiga benda uji pada setiap variasi umur pengujian yaitu 4, 7, dan 14 hari. Pengujian dilakukan pada temperatur udara ($\pm 30^{\circ}\text{C}$) sebelum pengisian pasta semen untuk mengetahui karakteristik awal campuran, sedangkan setelah rongga campuran diisi pasta semen dan mengalami proses *curing* dilakukan pengujian *Marshall* pada temperatur 60°C . Temperatur

tersebut digunakan agar hasil pengujian dapat dibandingkan secara langsung dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi. CPHMA–Semi Kaku dirancang menggunakan gradasi agregat yang lebih kasar dibandingkan CPHMA standar sehingga diperoleh rongga udara (VIM) sekitar 20%. Rongga udara yang tinggi diperlukan agar pasta semen dapat mengalir dan mengisi ruang antar agregat secara optimal. Setelah proses hidrasi berlangsung, pasta semen membentuk struktur semi-kaku yang meningkatkan stabilitas, kekakuan, dan kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas.

c) Pengujian Sifat *Marshall* CPHMA Standar

Pengujian *Marshall* terhadap CPHMA Standar dilakukan untuk memperoleh karakteristik stabilitas, flow, dan parameter volumetrik sebagai pembandingan terhadap CPHMA–Semi Kaku. Pengujian dilakukan pada umur 4, 7, dan 14 hari dengan temperatur pengujian sekitar 30°C. Penggunaan umur pengujian yang sama dimaksudkan agar proses evaluasi kedua jenis campuran dilakukan pada kondisi curing yang setara.

d) Pengujian Sifat *Marshall* CPHMA–Semi Kaku

Pengujian *Marshall* terhadap CPHMA–Semi Kaku dilakukan untuk mengevaluasi perkembangan karakteristik mekanik campuran setelah rongga udara diisi pasta semen. Pengujian dilakukan pada umur 4, 7, dan 14 hari untuk menggambarkan perkembangan kekuatan akibat proses hidrasi semen. Selain itu dilakukan pengujian pada temperatur sekitar 30°C sebelum pengisian pasta semen dan temperatur 60°C setelah proses curing agar karakteristik CPHMA–Semi Kaku dapat dibandingkan secara langsung dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi.

4. Evaluasi

Evaluasi dilakukan secara grafis untuk membandingkan sifat *marshall* CPHMA standar dan CPHMA–Semi Kaku pada temperatur dingin (suhu ruang) dan pada suhu temperatur 60 °C. Selain itu semua sifat CPHMA dan CPHMA–Semi Kaku juga dibandingkan dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi untuk melihat apakah dapat memenuhi ketentuan untuk perkerasan jalan dengan lalu-lintas berat di atas 30 juta ESAL.

5. Pengambilan Kesimpulan Dan Saran

Penyusunan kesimpulan dan saran dilakukan berdasarkan hasil evaluasi dan pembahasan secara menyeluruh terhadap data hasil pengujian sifat CPHMA dan CPHMA–Semi Kaku.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. ANALISIS

1. Karakteristik Bahan

Bahan agregat, asbuton dan bahan pelunak/peremaja dan semen yang digunakan pada kajian ini memiliki sifat sebagaimana yang ditunjukkan pada **Tabel 2** sampai dengan **Tabel 4**. Adapun terhadap sifat semen portland merek Tiga Roda dan superplasticizer merek *MasterGlenium* ACE® 8595 tidak dilakukan pengujian. Semen portland merk Tiga Roda diyakini memenuhi persyaratan karena sudah bersertifikat Standar Nasional Indonesia (SNI), sedangkan sifat superplasticizer merek *MasterGlenium* ACE® 8595 seperti tampak pada **Gambar 4** yang merupakan produk dari *Sika Group* juga tidak dilakukan pengujian namun berdasarkan berbagai literatur menunjukkan dapat berfungsi baik sebagai superplasticizer tipe F dengan rentang proporsi penggunaan 0,5 sampai dengan 2% dalam air [11].

Dalam penelitian ini, semen *Portland* Tipe I dan superplasticizer tidak diuji kembali di laboratorium karena keduanya merupakan produk pabrikan yang telah memenuhi spesifikasi mutu serta dilengkapi dengan sertifikat mutu dari produsen. Penggunaan material tersebut mengacu pada spesifikasi teknis pabrikan sehingga dianggap telah memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan penyusun *grout*. Namun demikian, penggunaan spesifikasi pabrikan tanpa verifikasi melalui pengujian laboratorium merupakan salah satu keterbatasan penelitian ini.



Gambar 4. Superplasticizer MasterGlenium ACE® 8595 yang Digunakan

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Agregat

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian			Spesifikasi ^{*)}	Satuan
		Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus		
Berat jenis agregat	SNI 03-1969-08					
Bulk		2.66	2.64	2.60	-	-
SSD					-	-
Apparent		2.69	2.68	2.73	-	-
Penyerapan (%)	SNI 03-1969-08	0.5	0.6	1.8	Maks. 3	%
Abrasi (%)	SNI 03-2417-08	28	-	-	Max. 40	%
Setara Pasir (%)	SNI 03-4428-08	-	-	59.5	Min. 50	%
Partikel Pipih dan Lonjong (%)	ASTM D 4791-05	3.3	-	-	Max. 10	%
Angularitas Agregat Halus (%)	SNI 03-6877-02	-	-	46.5	Min. 45	%
Angularitas Agregat Kasar (%)	SNI 7619:12	96/91	-	-	Min. 95/90	%
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439:11	-	95+	-	Min. 95	%
Pelapukan (Soundness)	SNI 3407:08	2.59	5.03	5.46	Maks. 12	%
Natrium Sulfat (%)						
		0.46	0.52	-	Maks. 1	%
Lolos saringan No. 200 (%)	SNI ASTM C117:12	-	-	8.75	Maks. 12	%
Gumpalan lempung (%)	SNI 03-4141-96	-	-	0.83	Maks. 1	%

Bedasarkan data yang ditunjukkan pada **Tabel 2** dapat diketahui bahwa hasil pengujian agregat menunjukkan bahwa agregat kasar (*split*), agregat sedang (*screen*) dan agregat halus (abu batu) yang digunakan pada penelitian ini memiliki mutu yang memenuhi persyaratan untuk campuran beraspal sehingga layak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat asbuton B 50/30

Sifat-sifat asbuton butir	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi *)
Sifat Asbuton dalam Bentuk Asli			
Analisa Saringan; % lolos			
- Saringan 3/8	SNI ASTM C136:12	100	100
- Saringan No. 4		100	-
- Saringan No. 8		86	-
- Saringan No. 16		59	-
- Saringan No. 30		48	-
- Saringan No. 50		40	-
- Saringan No. 100		27	-
- Saringan No. 200		19	-
Kadar Bitumen; %	SNI 8279:16	24.8	Min. 20
Kadar Air; %	SNI 2490:08	1.0	Max. 4

Sifat-sifat asbuton butir	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi *)
Berat Isi Gembur; g/ml	SNI 03-4804-98	0.772	-
Berat Isi Padat; g/ml	SNI 03-4804-98	0.983	-
Sifat Bitumen Hasil Ekstraksi (SNI 8279 : 2016) dan Pemulihan (SNI 4797:2015)			
Penetrasi 25 °C, 100 g, 5 detik; dmm	SNI 2456:11	41	40-70
Titik Lembek; °C	SNI 2434:11	54	Min. 50
Berat Jenis Bitumen	SNI 2441:11	1.048	Min. 1
Titik Nyala; °C	SNI 2433:11	197	-
Sifat Mineral Hasil Ekstraksi			
Analisa Saringan; % lolos			
- Saringan 3/8		100	-
- Saringan No. 4		100	-
- Saringan No. 8	SNI ASTM C136:12	99	-
- Saringan No. 16		94	-
- Saringan No. 30		88	-
- Saringan No. 50		79	-
- Saringan No. 100		57	-
- Saringan No. 200		34	-
Berat Jenis Mineral; g/ml	SNI C117-12	2.23	-



Gambar 5. Asbuton Butir B 50/30 yang Digunakan

Adapun **Tabel 3** menyajikan hasil pengujian terhadap sifat Asbuton Butir B 50/30 yang terpilih untuk digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengujian tersebut tampak Asbuton Butir B 50/30 yang digunakan yang ditunjukkan pada **Gambar 5** memenuhi persyaratan SNI 8864:2019 [12], sehingga layak digunakan. Asbuton tersebut memiliki kandungan bitumen 24,8% dengan nilai pentrasi dan titik lembek bitumen secara berturut-turut 41 dmm dan 54 °C.

Tabel 4. Hasil Uji Bahan Pelunak/Peremaja

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
Kekentalan pada 60 °C	115	cSt
Kelarutan dalam TCE	99,3	%
Residu TFOT	72	%

Tabel 4 menunjukkan bahwa bahan peremaja yang digunakan memiliki kekentalan pada 60 °C 115 cSt atau setara dengan aspal cair SC 70. Dengan sifat tersebut maka diharapkan dapat berfungsi melunakkan bitumen asbuton dalam campuran CPHMA sehingga dapat dihampar dan dipadatkan di lapangan secara dingin (tanpa pemanasan).

Bahan peremaja berfungsi meningkatkan kelenturan bitumen Asbuton sehingga campuran CPHMA tetap dapat dihampar dan dipadatkan pada temperatur lingkungan. Dengan viskositas sebesar 115 cSt pada temperatur 60°C, bahan peremaja diharapkan mampu memperbaiki *workability* campuran tanpa menghilangkan karakteristik dasar aspal alam Asbuton.

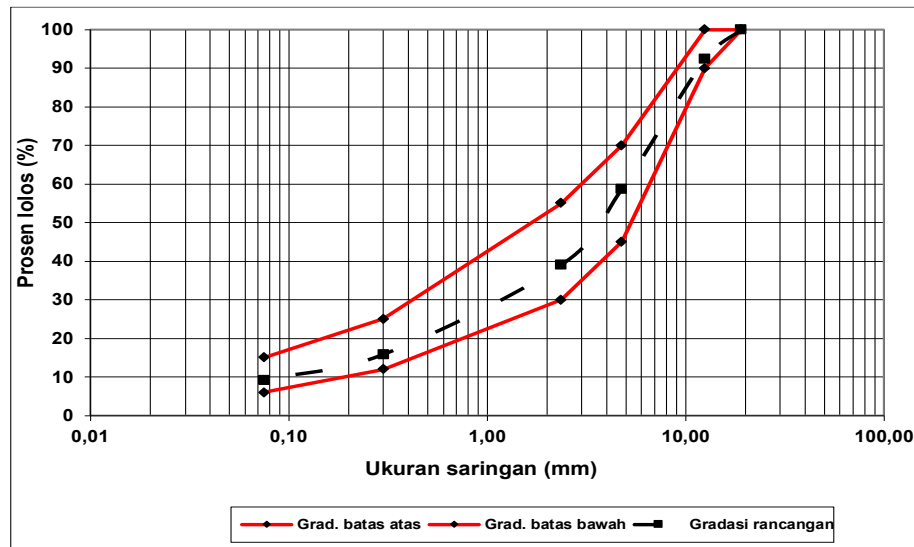
2. Karakteristik CPHMA Standar

Sebagai pembanding, telah diuji sifat campuran CPHMA standar atau yang sudah umum digunakan. Karakteristik CPHMA Standar tersebut sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 5** dan **Gambar 6**. Berdasarkan Tabel dan Gambar tersebut tampak gradasi gabungan yang dihasilkan memenuhi persyaratan. CPHMA Standar yang dibuat pada penelitian ini memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan sebagaimana hasil pengujian yang ditunjukkan pada **Tabel 6** CPHMA Standar memiliki stabilitas Marshall pada temperatur udara 913 kg dengan rongga (VIM) 5,6 %.

Nilai stabilitas *Marshall* sebesar 913 kg menunjukkan bahwa CPHMA standar telah memenuhi persyaratan teknis untuk campuran CPHMA dan masih memadai untuk digunakan pada perkerasan dengan lalu lintas ringan sesuai tujuan awal pengembangan teknologi tersebut. Oleh karena itu, karakteristik CPHMA standar digunakan sebagai kondisi acuan (*baseline*) untuk mengevaluasi peningkatan kinerja yang diperoleh setelah campuran dikembangkan menjadi CPHMA–Semi Kaku melalui pengisian rongga menggunakan pasta semen.

Tabel 5. Gradasi Agregat Dan Campuran

URAIAN	Gradasi					
Ukuran Saringan:						
Inch	3/4"	1/2"	#4	#8	#50	#200
mm	19	12,5	4,75	2,36	0,300	0,075
Gradasi Agregat :						
Agregat kasar	100	69,7	3,3	2,9	2,4	2,0
Agregat sedang	100	100	34,8	6,1	2,4	2,1
Abu batu	100	100	98,5	69,8	19,0	11,6
Mineral asbuton	100	100	96,8	94,7	87,3	43,7
Kombinasi Agregat						
Agregat kasar 25%	25,0	17,4	0,8	0,7	0,6	0,5
Agregat sedang 25%	25,0	25,0	8,7	1,5	0,6	0,5
Abu batu 42,5%	42,5	42,5	41,9	29,7	8,1	4,9
Mineral asbuton 7,5%	7,5	7,5	7,3	7,1	6,5	3,3
Gradasi gabungan	100	92,4	58,6	39,0	15,8	9,2
Persyaratan Gradasi CPHMA						
Maksimum	100	100	70,0	55,0	25,0	15,0
Minimum	100	90,0	45,0	30,0	12,0	6,0



Gambar 6. Grafik Gradasi Agregat CPHMA Standar

Tabel 6. Karakteristik Marshall CPHMA Standar pada Temperatur Udara

Sifat-sifat Campuran CPHMA	Hasil Uji	Persyaratan *)
Jumlah tumbukan per bidang	75	75
Kadar Bitumen Asbuton (%)	2.48	-
Kadar Aspal Pen 60 (%)	2.50	-
Kadar Peremaja (%)	2.00	-
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	5.6	4 - 10
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	18	Min. 16
Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	73	Min. 60
Stabilitas Marshall (kg), temperatur udara	913	Min. 500
Pelelehan (mm)	3.3	2 - 5
Stabilitas Marshall Sisa setelah perendaman selama 24 jam, (%)	90	Min. 70

*) Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

3. Karakteristik CPHMA–Semi Kaku

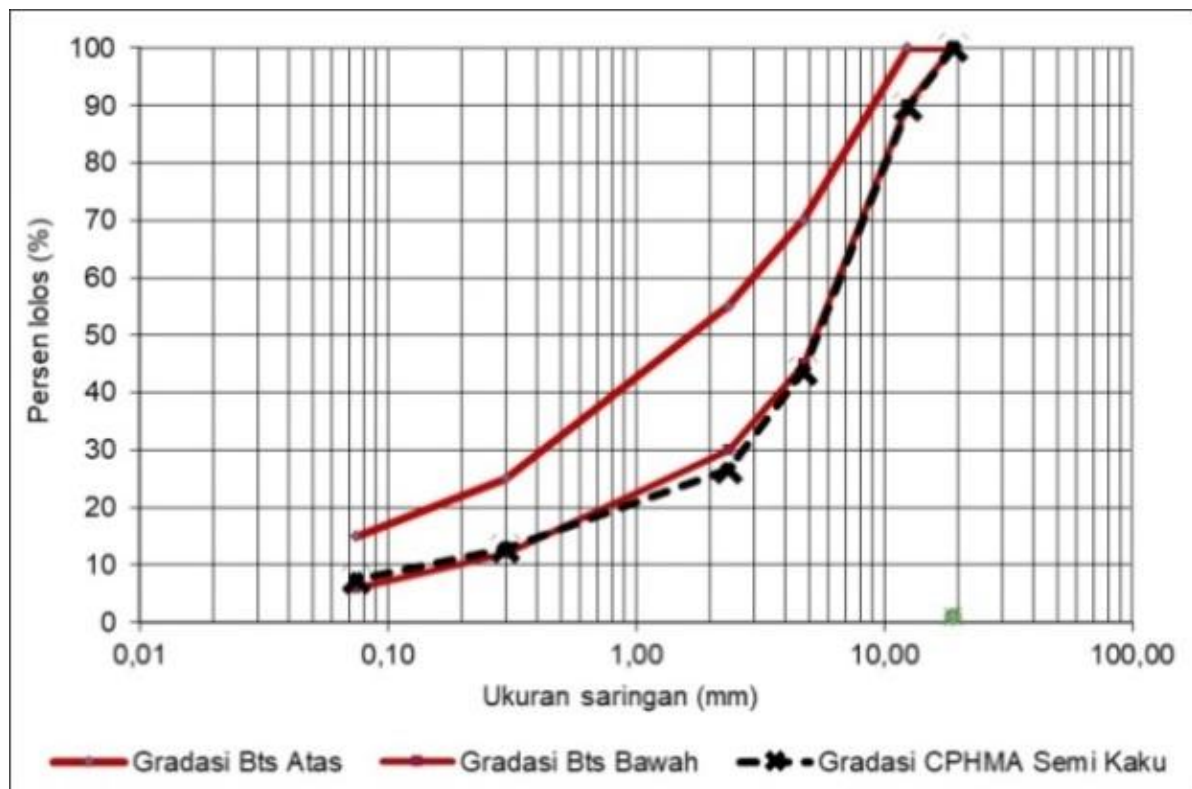
Gradasi CPHMA–Semi Kaku harus sedemikian rupa sehingga memiliki rongga udara (VIM) tinggi di atas 16%. Untuk maksud tersebut maka gradasi dibuat lebih kasar sebagaimana tampak pada **Tabel 7** dan **Gambar 7**. Namun konsekuensinya gradasi sedikit lebih rendah dari persyaratan minimum gradasi CPHMA. Maksud dari diperolehnya VIM di atas 16% adalah agar dapat diisi oleh pasta semen.

Terhadap CPHMA–Semi Kaku dengan gradasi sesuai rencana, telah dilakukan pengujian sifat Marshall terhadap CPHMA–Semi Kaku sebelum diisi pasta semen (**Gambar 8**). Kondisi CPHMA–Semi Kaku ini dapat dianggap setara dengan kondisi CPHMA–Semi Kaku 0 hari setelah diisi pasta semen. Sifat Marshall CPHMA–Semi Kaku tersebut adalah sebagaimana disajikan pada **Tabel 8**.

Tabel 7. Proporsi dan Gradasi Agregat CPHMA–Semi Kaku

URAIAN	Gradasi					
Ukuran Saringan:						
Inch	3/4"	1/2"	#4	#8	#50	#200
mm	19	12,5	4,75	2,36	0,300	0,075
Gradasi Agregat :						

URAIAN	Gradasi					
Agregat kasar	100	69,7	3,3	2,9	2,4	2,0
Agregat sedang	100	100	34,8	6,1	2,4	2,1
Abu batu	100	100	98,5	69,8	19,0	11,6
Mineral asbuton	100	100	96,8	94,7	87,3	43,7
Kombinasi Agregat						
Agregat kasar 34%	25,0	17,4	0,8	0,7	0,6	0,5
Agregat sedang 35%	25,0	25,0	8,7	1,5	0,6	0,5
Abu batu 23,5%	42,5	42,5	41,9	29,7	8,1	4,9
Mineral asbuton 7,5%	7,5	7,5	7,3	7,1	6,5	3,3
Gradasi gabungan	100	89,7	43,7	26,6	12,7	7,4
Persyaratan Gradasi CPHMA						
Maksimum	100	100	70,0	55,0	25,0	15,0
Minimum	100	90,0	45,0	30,0	12,0	6,0



Gambar 7. Grafik Gradasi Agregat Gabungan CPHMA–Semi Kaku

Data pada **Tabel 8** tersebut menunjukkan bahwa CPHMA setelah dipadatkan dan diuji pada temperatur udara (sekitar 30 °C) memiliki stabilitas Marshall 353 kg dan rongga udara (VIM) 17%. Sedangkan jika dipadatkan dan diuji pada temperatur 60 °C (sesuai campuran beraspal panas) memiliki stabilitas Marshall 120 kg dan rongga udara 15%. Sifat CPHMA ini bila dibandingkan dengan persyaratan campuran beraspal panas porous yang diuji pada temperatur 60 °C sangat rendah. Oleh sebab itu, penggunaan/pembukaan perkerasan untuk dilalui kendaraan (lalu lintas) sebaiknya setelah campuran diberi pasta semen dan pasta semen sudah meningkat kekerasannya. Sejauh mana kekerasan awal yang harus dicapai, harus berdasarkan hasil uji coba.

Tabel 8. Hasil Uji Marshall CPHMA–Semi Kaku Pada Temperatur Udara Sebelum Di Isi Pasta Semen

Sifat-sifat Campuran CPHMA	Hasil Uji 0 hari		Persyaratan Pada 60 °C ^{*)}
	30 °C	60 °C	
Jumlah tumbukan per bidang	75	75	75
Kadar Bitumen Asbuton (%)	2.48	2.48	-
Kadar Aspal Pen 60 (%)	2.50	2.50	-
Kadar Peremaja (%)	2.00	2.00	-
Pasta Semen (%)	0	0	-
Kepadatan	2.024	2.024	-
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	17	15	Sekitar 20
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	29	26	-
Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	41	46	-
Stabilitas Marshall (kg), temperatur udara	353	120	343
Pelelehan (mm)	3.43	4.15	-
Hasil Bagi Marshall (Kg/mm)	109	56	-
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, temperatur udara	72	67	-

^{*)} JRA, 2021



Gambar 8. Benda Uji Marshall CPHMA Sebelum Diberi Pasta Semen

Sifat Marshall CPHMA–Semi Kaku setelah diisi pasta semen (**Gambar 9**) telah diuji pada umur 4 hari, 7 hari dan 14 hari sebagaimana tampak pada **Tabel 9**. Setiap hasil pengujian pada umur 4, 7, dan 14 hari merupakan nilai rata-rata dari tiga benda uji untuk masing-masing kondisi pengujian. Pengujian dilakukan pada temperatur 60 °C untuk mengevaluasi karakteristik CPHMA–Semi Kaku setelah proses curing dan membandingkannya dengan persyaratan campuran beraspal panas aspal modifikasi.



Gambar 9. Benda Uji Marshall CPHMA Setelah Diberi Pasta Semen

Tabel 9. Hasil Uji Marshall Temperatur Suhu 60 °C Umur 4 Hari, 7 Hari Dan 14 Hari

Sifat-sifat Campuran CPHMA	Hasil Pengujian 60 °C		
	4 Hari	7 Hari	14 Hari
Jumlah tumbukan per bidang	75	75	75
Kadar Bitumen Asbuton (%)	2.48	2.48	2.48
Kadar Aspal Pen 60 (%)	2.50	2.50	2.50
Kadar Peremaja (%)	2.00	2.00	2.00
Pasta Semen (%)	15	15	15
Kepadatan	2.447	2.456	2.453
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	2,3	2,1	1,8
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	14	15	14
Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	86	84	85
Stabilitas Marshall (kg), temperatur udara	1.487	1.570	2.318
Pelelehan (mm)	3.12	3.45	4.29
Hasil Bagi Marshall (Kg/mm)	472	432	548
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, temperatur udara	86 (1.283)	88 (1.375)	64 (1.457)

Penurunan nilai VIM dari sekitar 17% sebelum pengisian *grout* menjadi sekitar 2,3–1,8% setelah proses curing menunjukkan bahwa sebagian besar rongga udara telah terisi oleh pasta semen. Penurunan rongga tersebut menyebabkan struktur campuran menjadi lebih padat sehingga berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas *Marshall*. Selain menurunkan nilai VIM, proses pengisian *grout* juga menyebabkan perubahan parameter volumetrik campuran. Nilai VMA menurun dari sekitar 29% sebelum pengisian *grout* menjadi 14–15% setelah proses *curing*, sedangkan nilai VFB meningkat dari sekitar 41–46% menjadi 84–86%. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa rongga antar agregat telah terisi oleh pasta semen sehingga struktur campuran menjadi lebih rapat dan lebih kaku.

Peningkatan kepadatan struktur akibat pengisian *grout* menyebabkan stabilitas *Marshall* meningkat secara signifikan dari 120 kg sebelum pengisian pasta semen menjadi 1.487 kg, 1.570 kg, dan 2.318 kg pada umur *curing* berturut-turut 4, 7, dan 14 hari. Kenaikan tersebut menunjukkan bahwa proses hidrasi pasta semen membentuk matriks yang memperkuat ikatan antar agregat sehingga campuran berubah dari karakter lentur menjadi semi-kaku. Meskipun terjadi peningkatan stabilitas *Marshall* yang sangat signifikan, nilai stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman menunjukkan kecenderungan menurun pada umur curing yang lebih panjang. Nilai stabilitas *Marshall* sisa pada umur 4 dan 7 hari masing-masing sebesar 86% dan 88%, sedangkan pada umur 14 hari turun menjadi 64%. Nilai tersebut masih berada di bawah persyaratan minimum campuran beraspal panas aspal modifikasi sebesar 90%, sehingga menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap pengaruh air masih perlu ditingkatkan. Dengan demikian, teknologi CPHMA–Semi Kaku telah menunjukkan peningkatan kekuatan mekanis yang baik, namun aspek durabilitas terhadap air masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

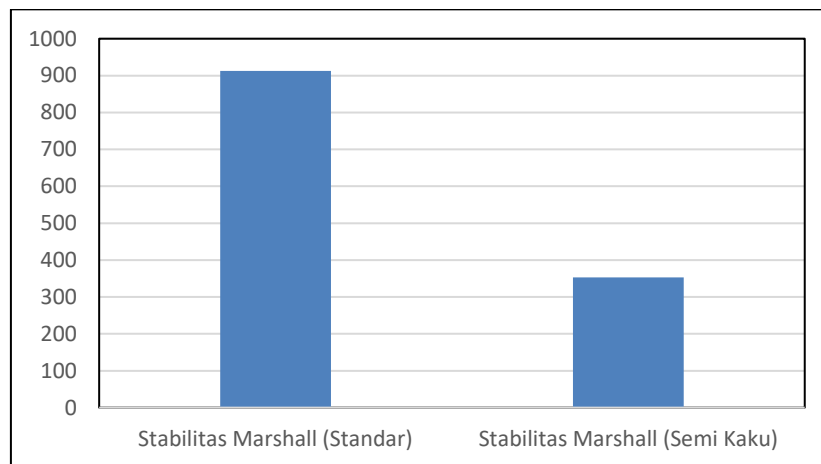
3.2. PEMBAHASAN

1. Perbandingan Karakteristik CPHMA–Semi Kaku dengan CPHMA Standar

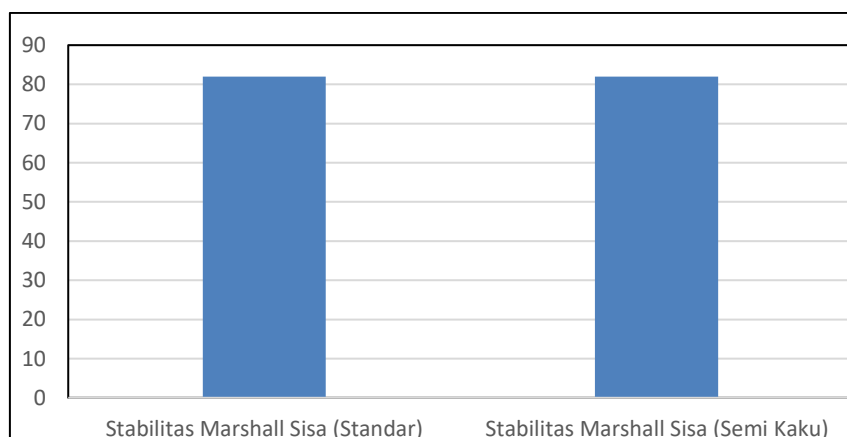
Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik CPHMA–Semi Kaku mengalami perubahan yang cukup signifikan setelah rongga campuran diisi menggunakan pasta semen. Perubahan tersebut tidak hanya meningkatkan stabilitas *Marshall*, tetapi juga mengubah karakteristik volumetrik campuran sehingga struktur internal menjadi lebih padat dan lebih kaku dibandingkan kondisi sebelum proses *grouting*. Sebagaimana tampak pada **Gambar 10**, CPHMA–Semi Kaku sebelum diisi pasta semen memiliki sifat *Marshall* yang lebih rendah dari persyaratan CPHMA yaitu stabilitas *Marshall* 353 kg atau lebih rendah dari persyaratan minimum 500 kg, serta VIM 17% atau lebih tinggi dari persyaratan maksimum 10%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi awal, sebelum diisi pasta semen, kekuata

CPHMA–Semi Kaku sangat rendah dan memiliki rongga yang besar. Dengan demikian dapat diperkirakan juga kekuatan CPHMA–Semi Kaku segera setelah diisi pasta semen sangat rendah sehingga perlu dijaga dari lalu lintas sampai pasta semen pengisi mengeras dan mencapai kekuatan yang memadai untuk dilalui lalu lintas.

Dilihat dari stabilitas sisa, CPHMA–Semi Kaku sebelum diisi pasta semen dan CPHMA Standar memiliki stabilitas sisa yang memenuhi persyaratan CPHMA yaitu di atas 70%.



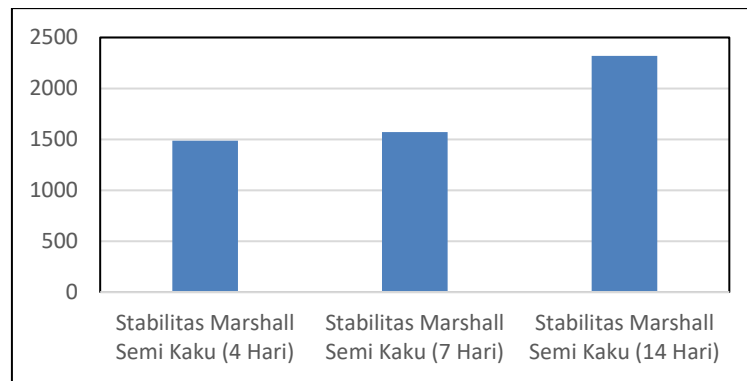
Gambar 10. Grafik Perbandingan Sifat Marshal CPHMA–Semi Kaku pada Temp 30 °C dengan CPHMA Standar



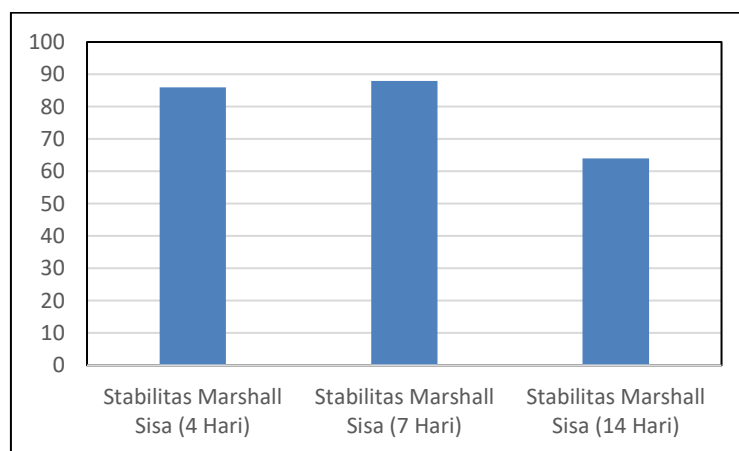
Gambar 11. Grafik Perbandingan Sifat Marshal Sisa CPHMA–Semi Kaku pada Temp 30 °C dengan CPHMA Standar

2. Perbandingan Karakteristik CPHMA–Semi Kaku dengan Persyaratan Lalu Lintas Berat

Gambar 12 menunjukkan bahwa sifat Marshall CPHMA–Semi Kaku setelah diisi pasta semen terjadi peningkatan kekuatan seiring waktu penyimpanan. Stabilitas Marshall yang diuji pada temperatur 60 °C secara berturut-turut pada umur 4 hari, 7 hari dan 14 hari adalah 1.487 kg, 1.570 kg dan 2.318 kg. Besarnya stabilitas Marshall pada semua umur tersebut sudah melampaui persyaratan stabilitas Marshall campuran beraspal panas dengan aspal modifikasi yaitu minimum 1.000 kg pada temperatur pengujian 60 °C. Dengan demikian maka CPHMA–Semi Kaku tersebut sudah dapat digunakan untuk lalu lintas berat.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Sifat Marshall CPHMA–Semi Kaku pada Temp 60 °C Dengan Persyaratan Lalu Lintas Berat



Gambar 13. Grafik Perbandingan Sifat Marshall Sisa CPHMA–Semi Kaku pada Temp 60 °C Dengan Persyaratan Lalu Lintas Berat

Hal yang perlu menjadi perhatian adalah stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman dalam air sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 13**. Nilai stabilitas *Marshall* sisa CPHMA–Semi Kaku tersebut lebih rendah dari persyaratan campuran beraspal panas minimum 90%. Namun walaupun demikian, dilihat dari nilai stabilitas *Marshall* semuanya masih di atas persyaratan stabilitas *Marshall* tanpa perendaman (lebih besar dari 1.000 kg).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. CPHMA Standar memenuhi persyaratan teknis sebagai campuran pembanding (*baseline*), sedangkan CPHMA–Semi Kaku sebelum pengisian pasta semen memiliki stabilitas *Marshall* yang rendah dan rongga udara (VIM) yang tinggi sebagai kondisi yang sengaja dirancang agar grout dapat mengisi rongga campuran secara optimal.
2. Pengisian pasta semen pada CPHMA–Semi Kaku meningkatkan karakteristik *Marshall* secara signifikan, yang ditunjukkan oleh peningkatan stabilitas *Marshall* hingga 2.318 kg pada umur *curing* 14 hari serta penurunan nilai VIM. Hasil ini menunjukkan bahwa pengisian *grout* berhasil membentuk struktur campuran yang lebih padat dan semi-kaku sehingga berpotensi meningkatkan kapasitas struktural perkerasan.
3. Meskipun menunjukkan peningkatan kekuatan mekanis yang signifikan, nilai stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman masih belum memenuhi persyaratan minimum, sehingga ketahanan

terhadap pengaruh air masih memerlukan optimasi. Selain itu, penelitian ini masih terbatas pada pengujian laboratorium. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada optimasi komposisi grout untuk meningkatkan durabilitas campuran serta divalidasi melalui uji skala lapangan sebelum diterapkan pada perkerasan jalan dengan lalu lintas berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang terkait dengan penulisan ini di Universitas Tama Jagakarsa di Jakarta dan Balai Bahan Jalan Kementerian PUPR di Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Nyoman *et al.*, “Perbandingan Karakteristik Campuran *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) yang Dipadatkan Secara Dingin dan Panas,” *Thanaya*, vol. 24, p. 31, 2017, doi: 10.5614/jts.2017.24.3.8.
- [2] M. Syahairony and P. R. T. Naibaho, “*Marshall Characteristics, Refusal Density and Abrasion Value on Hot Rolled Asphalt (HRA) Mixtures Using Laterite Stone as Replacement Aggregate*,” vol. 13, no. 3, pp. 970–1001, 2024, doi: 10.32832/astonjado.v13i3.
- [3] Suhardi, P. Pratomo, and H. Ali, “Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik,” no. 2, p. 284, 2016, doi: <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v4i2.381>.
- [4] R. Febriana Siregar, Harsusani, and F. Kamil, “Pengaruh Penambahan Sabut Kelapa Terhadap Agregat Pada Kuat Tekan Beton K-175,” *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, vol. 12, no. 2, pp. 81–88, 2024, doi: 10.33603/jki.v12i2.9848.
- [5] “Lampiran Permen PUPR No.18/PRT/M/2018 - Tentang Penggunaan Aspal Buton Untuk Pembangunan Dan Preservasi Jalan,” Jakarta, 2018.
- [6] J. R. Martins De Oliveira, “*Grouted Macadam-Material Characteristics For Pavement Design*,” *University of Nottingham, Nottingham*, 2006.
- [7] A. Setyawan, “Kajian Campuran Aspal Semi Kaku (*Grouted Macadam*) untuk Lapisan Perkerasan Jalan,” Universitas Diponegoro, Semarang, 2004.
- [8] H. Fithra, Burhanuddin, and K. Biza, “Karakteristik Campuran Perkerasan Semi Lentur Yang Ditinjau Dari Uji Durabilitas,” *Teras Jurnal*, vol. 4, no. 2, 2014, doi: <https://doi.org/10.29103/tj.v4i2.23>.
- [9] Y. L. Zhang and D. Q. Wu, “*Typical Applications Of Semi-Rigid Pavement*,” in *8 th International Conference On Maintenance and Rehabilitation of Pavements (MAIREPAV8)*, *Furama Riverfront Singapore*, Jul. 2016.
- [10] “*Road Bureau Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism - Roads In Japan*,” 2021. [Online]. Available: http://www.mlit.go.jp/road/road_e/index_e.html
- [11] A. Novan, Y. Morena, and E. S. Chebelita, “Pengaruh Penambahan MasterGlenium ACE®8595 dengan Pengurangan Kadar Air 37.5% dan Kadar Semen Rencana 409.80 kg/m³ Terhadap Kuat Tekan Beton,” *JCEBT*, vol. 6, no. 1, p. 2022, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [12] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 8864:2019 - Spesifikasi Asbuton Butir B 50/30 Untuk Perkerasan Jalan,” Jakarta, 2019.