

PEMANFAATAN LIMBAH MASKER SEKALI PAKAI SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BITUMEN TERHADAP NILAI STABILITAS DAN *FLOW*

Mutiara Permata Puspita Dewi^{1*}, Wike Andaresta Elsa Putri¹, Pricillia Kurniawan¹,
Bella Koes Paulina Cantik¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pradita, 15810, Indonesia

*Corresponding author: mutiara.permata@student.pradita.ac.id

Abstract: During the COVID-19 pandemic, it is essential to adhere to health protocols, one of which includes the use of a disposable mask for personal protection. However, the widespread use of single-use masks has resulted in a new problem, which is the accumulation of mask waste. Therefore, it is necessary to find a solution to reduce the amount of mask waste. One innovative solution to this problem is the utilization of masks in the infrastructure sector. Masks made of polypropylene are advantageous as they act as a good binder. By incorporating an appropriate percentage of mask waste, it is possible to produce bitumen with good parameters. This study aims to evaluate the stability and flow parameters of bitumen mixtures by substituting bitumen with 3-ply disposable mask waste. Experimental testing was conducted by replacing bitumen with mask waste at percentages of 0.5%, 0.75%, 1%, 1.5%, and 2%. The hot mix method was used to mix asphalt with the waste masks at a temperature of 150°C. Sensitivity analysis was performed to determine the impact of the percentage of mask waste on the stability and flow assessment parameters using the Marshall Test. The results of this study indicate that an increase in the percentage of mask waste leads to a sensitive response in the stability and flow values. The optimum percentage of mask waste for the mixture was found to be 1.50%, resulting in stability and flow values of 1020.36 kg and 4 mm, respectively.

Keywords: bitumen, flow, mask, stability

Abstrak: Protokol kesehatan dalam era wabah COVID-19 mewajibkan pemakaian masker sekali pakai sebagai alat perlindungan diri. Namun dampak pemakaian masker sekali pakai secara masif menimbulkan adanya permasalahan baru yaitu penumpukan limbah masker, sehingga dibutuhkan inovasi yang solutif guna mengurangi penumpukan limbah masker. Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah pemanfaatan limbah masker dalam dunia infrastruktur. Dalam hal ini masker yang terbuat dari bahan *polypropylene* memiliki kelebihan sebagai pengikat yang baik, sehingga pemanfaatan limbah masker dengan persentase yang sesuai dapat menghasilkan bitumen dengan nilai parameter yang baik. Sasaran dalam penelitian ini adalah untuk mendapati angka stabilitas dan *flow* pada campuran bitumen dengan mengaplikasikan limbah masker sekali pakai 3 *ply* sebagai bahan pengganti bitumen. Metode yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu riset eksperimental dengan uji coba penggantian bitumen menggunakan limbah masker pada persentase campuran limbah 0,5%, 0,75%, 1%, 1,5%, dan 2%. Metode pencampuran aspal dilakukan secara *Hot Mix*, dimana limbah masker dicampurkan pada saat agregat bersuhu 150°C. Analisis sensitivitas dilakukan guna mengetahui pengaruh penggunaan persentase limbah masker sebagai bahan pengganti bitumen pada campuran bitumen terhadap parameter penilaian stabilitas dan *flow* melalui *Marshall Test*. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan persentase campuran limbah masker sensitif terhadap nilai stabilitas dan *flow*. Penambahan persentase optimum didapatkan pada persentase 1,50% dengan nilai stabilitas dan *flow* berturut-turut adalah 1020,36 kg dan 4 mm.

Kata kunci: bitumen, *flow*, masker, stabilitas

PENDAHULUAN

Wabah COVID-19 yang telah terjadi di dunia mengakibatkan masyarakat harus melakukan penyesuaian terhadap kebiasaan baru, salah satunya adalah pemakaian masker dalam kehidupan sehari-hari. Pemakaian masker diwajibkan guna mencegah pencemaran wabah yang semakin meningkat. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. HK.01.07/MENKES/382/2020, seluruh masyarakat Indonesia wajib menggunakan masker sekali pakai sebagai bentuk perlindungan diri. Namun, adanya pemakaian masker sekali pakai dalam jumlah yang masif dapat mengakibatkan peningkatan penumpukan limbah yang baru, yaitu limbah masker. Masker sekali pakai terbuat dari material plastik *polypropylene* yang sulit terurai, akan tetapi bahan tersebut dapat menjadi alternatif material campuran pada bitumen dengan memanfaatkan sifat elastisitasnya yang baik digunakan sebagai perekat (Setyaningrum, et al., 2022).

Masker medis sekali pakai terbuat dari material dasar berupa *polyolefin* yang sebagian besarnya terbuat dari bahan *polypropylene* dengan sifat *thermoplastic* (Budiman, et al., 2022). Hal tersebut menjadikan bahan *polypropylene* serupa dengan sifat dari material utama pada perkerasan jalan, yaitu bitumen. Material bitumen merupakan sumber daya tak terbarukan karena berasal dari alam yang pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun lamanya (Putri, et al., 2017). Oleh karena itu, solusi inovatif dan efektif sebagai pengganti bitumen sekaligus mengurangi jumlah penumpukan limbah masker sekali pakai adalah dengan mencampurkan limbah masker sekali pakai pada campuran bitumen dalam persentase yang optimum.

Studi ini bertujuan untuk menemukan persentase optimum dari pemakaian limbah masker sebagai bahan substitusi material bitumen pada campuran bitumen terhadap nilai stabilitas dan *flow*. Studi ini juga untuk melihat pengaruh dari berbagai skenario penambahan persentase limbah masker terhadap pemenuhan persyaratan campuran bitumen yang dihasilkan dalam eksperimen yang dilakukan di dalam laboratorium.

METODE PENELITIAN

Studi dilakukan dengan melakukan eksperimen di dalam laboratorium dengan mengukur beberapa variabel bebas terhadap variabel tetap guna mengetahui hubungan dan sensitivitas pada masing-masing variabel. Data pertama dan kedua digunakan untuk memandu jalannya studi ini untuk memenuhi tujuan akhir. Data utama berasal dari pengujian campuran bitumen pada berbagai benda uji di laboratorium. Proses penelitian dimulai dengan menguji berbagai material penyusun campuran bitumen yang terdiri dari pecahan batu kasar, pecahan batu halus, bitumen, dan bahan pengisi. Data persyaratan penggunaan material dan sifat campuran bitumen dari Spesifikasi Bina Marga digunakan sebagai data sekunder. Tahap selanjutnya yaitu proses penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan mengukur karakteristik campuran dari tiga konsentrasi bitumen yang berbeda. Hasil tersebut kemudian dipakai sebagai acuan dalam pembuatan campuran bitumen menggunakan bahan pengganti berupa limbah masker. Setelah mendapatkan nilai KAO, selanjutnya pembuatan benda uji dengan berbagai persentase limbah masker yang digunakan, mulai dari 0,50%, 0,75%, 1,00%, 1,50%, dan 2,00%. Tahapan yang dilakukan selanjutnya ialah proses pengujian Marshall dan pengujian *Maximum Specific Gravity* (GMM) guna mendapatkan karakteristik dari campuran bitumen. Pengujian Marshall akan menghasilkan dua karakteristik campuran bitumen berupa stabilitas dan kelelahan.

Batasan yang diberikan sebagai upaya pencapaian tujuan dalam penelitian ini, berupa penggunaan limbah masker medis tiga (3) ply sekali pakai berbahan utama plastik *polypropylene* sebagai bahan substitusi bitumen Shell Pen 60/70 guna mencapai tujuan penelitian yang sedemikian sehingga mengetahui nilai optimum campuran setelah diberi tambahan limbah masker. Limbah masker tersebut diperoleh dari bank sampah di Kampung Kalipaten dan telah melewati proses sanitasi dengan desinfektan, kemudian limbah tersebut dicacah bebas dengan takaran kurang dari satu (1) cm. Proses desinfektan dilakukan dengan tujuan menghilangkan virus dan kuman yang ada pada limbah masker.

Analisis Sensitivitas antar variabel yang hendak diukur menunjukkan korelasi pada masing-masing variabel yang direpresentasikan dengan pengaruh pada persentase variabel bebas terhadap sifat dari variabel tetap. Dalam hal ini, variabel bebas yang ditetapkan adalah persentase limbah masker yang digunakan sebagai bahan substitusi pada campuran bitumen, sedangkan untuk variabel tetap merupakan sifat bitumen yang ingin ditinjau, yaitu stabilitas dan *flow*.

Lokasi Penelitian

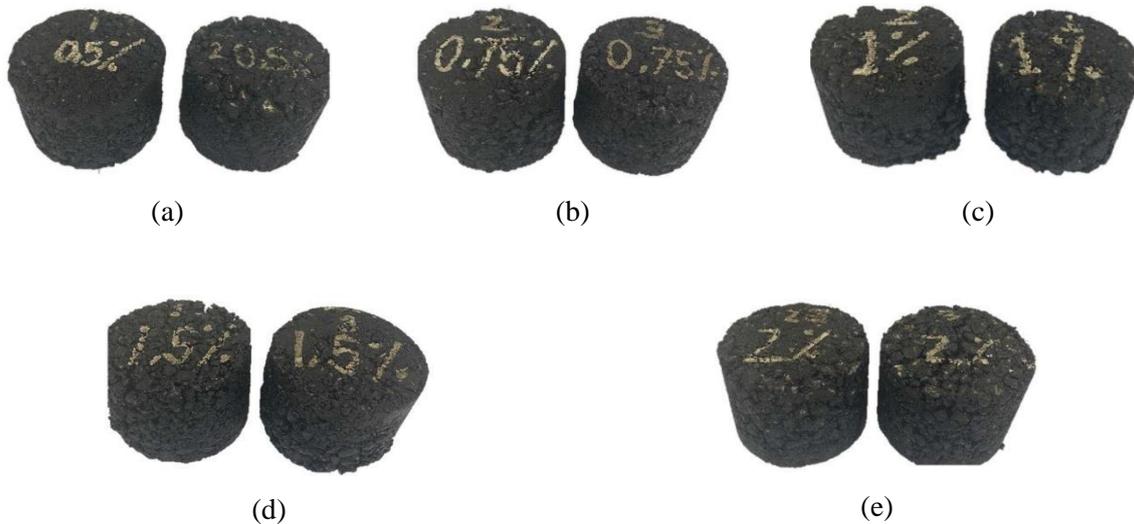
Penelitian ini memanfaatkan material berupa masker 3 *ply* sekali pakai yang sudah pernah digunakan sebelumnya kemudian dibuang (menjadi limbah) sebagai bahan substitusi bitumen dalam pembuatan campuran bitumen untuk perkerasan jalan lentur. Lokasi pengambilan limbah masker didapatkan dari salah satu bank sampah yang terletak di Kampung Kalipaten, Kelurahan Pakulonan Barat, Kecamatan Kelapa Dua, Kabupaten Tangerang, Banten. Adapun lokasi pengambilan limbah masker tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

Benda Uji

Material yang diperlukan pada pembuatan bitumen tersusun atas pecahan batu kasar, pecahan batu halus, material pengisi, dan bitumen. Material-material tersebut kemudian dilakukan pengujian guna mengetahui pemenuhan spesifikasi dari tiap-tiap material yang akan dilakukan pencampuran. Hal tersebut dilakukan untuk penentuan KAO terhadap *mix design* dari campuran bitumen agar pembuatan benda uji dapat dikerjakan. Pembuatan benda uji tersebut memiliki tujuan akhir, yaitu guna mengetahui sensitivitas pada masing-masing skenario variabel bebas yang berpengaruh pada sifat bitumen. Sifat-sifat bitumen yang ditinjau pada pengujian ini adalah stabilitas dan *flow*. Dalam hal ini, variabel bebas yang ditentukan adalah persentase dari substitusi material bitumen dengan limbah masker yang digunakan. Gambar 2 berikut merupakan benda uji yang dibuat dengan persentase limbah masker yang bervariasi, mulai dari 0,50% sampai dengan 2,00%.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Limbah Masker



Gambar 2. Benda uji Campuran Limbah Masker: (a) Campuran 0,50%, (b) Campuran 0,75%, (c) Campuran 1,00%, (d) Campuran 1,50%, (e) Campuran 2,00%

Pecahan Batu

Salah satu material utama yang terdapat pada campuran bitumen, yaitu pecahan batuan kasar dan pecahan batuan halus yang didapat dari alam (Sukirman, 2016). Pecahan batuan kasar terdiri dari potongan-potongan batu dan kerikil yang tidak lolos terdahap saringan No. 4 dari hasil analisis saringan atau memiliki takaran butiran lebih besar dari 4,75 mm. Sebaliknya, pecahan batuan halus merupakan material berupa pasir tidak tertahan pada saringan No. 4 atau butiran dengan diameter yang lebih kecil dari 4,75 mm. Pecahan batuan kasar terdiri dari potongan-potongan batu dan kerikil yang tertahan pada saringan No.4. Pecahan-pecahan tersebut ditakarkan menggunakan saringan yang sesuai dengan spesifikasi, yaitu saringan 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200.

Pecahan batuan yang digunakan dalam pencampuran bitumen dipisahkan dalam fraksi Bin 1 (pecahan batu yang lolos saringan 3/4" dan tertahan saringan 1/2"), Bin 2 (pecahan batu yang lolos saringan 3/8" dan tertahan saringan No. 4), Bin 3 (pecahan batu yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 8), dan Bin 4 (pecahan batu yang lolos saringan No. 8). Namun, sebelum dipisahkan, pecahan batuan harus dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan sisa-sisa lumpur yang menempel dengan cara dicuci menggunakan air yang mengalir. Kemudian dikeringkan dalam oven

selama minimal 4 jam dalam suhu 105°C-110°C. Setelah dikeringkan dalam oven, pecahan batu tersebut dibiarkan berada pada suhu ruang hingga mencapai berat tetap. Kualitas perkerasan jalan ditentukan oleh pecahan batu yang digunakan dalam campuran bitumen. Hal tersebut disebabkan oleh persentase yang digunakan dalam komposisi campuran bitumen, dimana berdasarkan persentase berat pecahan batu yang diolah sebesar 90%-95%, atau berdasarkan persentase volume pecahan batu yang diolah sebanyak 75%-85%. Gradasi pecahan batu digunakan untuk pembuatan kadar campuran bitumen yang akan digunakan dalam penelitian.

Material Pengisi

Material pengisi atau umumnya disebut sebagai *filler* ditambahkan pada campuran bitumen dan penggunaannya harus memenuhi persyaratan SNI 06-6723:2002. Penambahan material pengisi yang digunakan memiliki persyaratan maksimum sebesar 3% terhadap berat pecahan batu kering. Material seperti kapur, debu batuan, Semen Portland, maupun material lainnya yang lolos saringan No. 200 merupakan beberapa material pengisi yang dapat ditambahkan pada campuran bitumen (Totomiharjo, 1994). Namun, pada penelitian ini material pengisi yang digunakan adalah masker medis sekali pakai berbahan plastik *polypropylene*.

Bitumen

Bitumen memiliki sifat *thermoplastic* yang diterapkan dalam mekanisme struktur perkerasan jalan lentur, dengan kadar bitumen dalam campuran bervariasi, yaitu antara 4%-10% dari berat campuran, atau 10%-15% dari volume campuran (Sukirman, 2007). Kadar bitumen yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu sebesar 5,7% pada kadar aspal normal, yang kemudian akan disubstitusi oleh masing-masing persentase limbah masker rencana. Penentuan kadar bitumen normal didapat melalui formula berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 \times (\%FF) + K$$

Keterangan:

P_b = kadar aspal perkiraan (%)

CA = pecahan batuan kasar tertahan saringan No.8

FA = pecahan batuan halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200

FF = pecahan batuan halus lolos saringan No.200

K = konstanta sekitar 0,5-1,0

Bitumen Padat

Campuran bitumen pada penelitian ini terisi oleh pecahan batu dengan butir yang kasar, pecahan batu dengan butir yang halus, bitumen Shell Pen 60/70 berwarna hitam dan berbentuk padat atau semi padat, dan material pengisi (Sukirman, 2016). Masing-masing material tersebut dicampurkan dalam persentase tertentu, yang telah ditentukan melalui perhitungan KAO.

Kemudian, bitumen yang digunakan disubstitusi dengan limbah masker karena sifat dasar bahan pembuatnya sama seperti sifat bitumen yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan perekat. Penggunaan kadar limbah masker yang dipakai merupakan persentase limbah masker terhadap kadar bitumen normal, dengan jumlah dari penambahan bitumen dan limbah masker adalah 5,7%. Limbah masker yang digunakan telah melalui proses desinfektan dan dicacah menjadi ukuran ± 1 cm, kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan berat dari tiap persentasenya.

Proses pencampuran bitumen dilakukan dengan metode *Hot Mix*, yaitu pemanasan bitumen hingga bitumen mencapai tingkat

kekentalan sesuai dengan SNI-2489-1991. Pemanasan untuk benda uji dapat dilakukan dengan menggunakan wajan dan penggorengan di atas kompor yang menyala. Pemanasan pecahan batu dilakukan hingga mencapai suhu 150°C. Setelah mencapai suhu tersebut, kemudian cacahan limbah masker yang sudah dipersiapkan dimasukkan ke dalam campuran dan diaduk hingga melebur. Kemudian bitumen yang telah mencapai kekentalannya, dicampurkan ke dalam wajan berisi campuran pecahan batu tersebut dan diaduk menggunakan penggorengan hingga bitumen dan pecahan batu tersebut tercampur rata.

Setelah dilakukan pencampuran, dilanjutkan dengan proses pemadatan benda uji menggunakan cetakan dan alat penumbuk. Penumbuk yang digunakan memiliki permukaan rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. pada cetakan, terdapat landasan pemadat yang terdiri dari balok yang terbuat dari kayu jati atau kayu yang sejenis dengan ukuran 20,32 \times 20,32 \times 45,72 cm dilapisi dengan plat baja berukuran 30,48 \times 30,48 \times 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya. Penumbukan dilakukan sebanyak 75 kali di sisi atas dan sisi bawahnya.

Pengujian Benda uji

Pengujian spesifikasi material perlu dilakukan untuk membuat *mix design* guna mendapatkan nilai KAO benda uji. Tujuan akhir dari pembuatan benda uji adalah untuk mendeteksi sensitivitas pada nilai stabilitas dan *flow* agar dapat ditinjau seberapa efektifnya penggunaan campuran limbah masker dalam campuran bitumen, maka benda uji yang telah dibuat perlu melalui proses pengujian.

Pengujian benda uji yang dilakukan terbagi menjadi dua, yaitu pengujian Marshall dan pengujian GMM. Setelah membuat benda uji yang kemudian dilakukan proses perendaman selama 24 jam di dalam air dengan suhu ruang sebelum pengujian dilakukan.

Pengujian Marshall

Nilai stabilitas dan *flow* dapat diketahui melalui suatu pengujian, yaitu pengujian Marshall (Suardi, et al., 2016). Pengujian Marshall akan menghasilkan suatu nilai yang menunjukkan kemampuan bitumen dalam

menerima dan menahan beban sampai batas tertentu hingga terjadinya kelelahan (*flow*) dan batas tingkat stabilitas benda (Pangemanan, et al., 2015). Pengujian Marshall dilakukan setelah benda uji melewati pengukuran dimensi, kemudian perendaman selama 24 jam. Setelah melewati perendaman, benda uji kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan nilai berat jenis campuran beraspal. Setelah itu, benda uji direndam dalam air bersuhu 60°C selama 30 menit untuk kemudian dites menggunakan mesin Marshall. Perhitungan pada pengujian Marshall dapat menggunakan rumus berikut:

$$\text{Stabilitas} = \text{Pembacaan arloji tekan} \times \text{Angka korelasi beban} \times \text{Kalibrasi Proving Ring}$$

Sedangkan perhitungan nilai *flow* cukup menggunakan pembacaan yang didapat pada arloji pengukur, satu putaran setara dengan 1 mm.

$$\text{Flow} = \text{Dibaca pada arloji penguku}$$

Pengujian GMM

Pengujian berat jenis maksimum atau *Maximum Specific Gravity* (GMM) dilakukan untuk mengetahui berat jenis maksimum setelah proses vakum hingga mencapai kondisi minimum rongga (*void*) dalam campuran bitumen dan limbah masker (Pusjatan, 2019). Proses vakum dalam pengujian GMM dilakukan selama 15 menit menggunakan mesin GMM. Selain itu nilai GMM digunakan untuk mendapatkan nilai *air void*, VMA, dan VFA. Rumus perhitungan GMM, *air void*, VMA, dan VFA dapat dilihat pada rumus berikut:

$$\text{GMM} = \frac{A}{A+D-E}$$

$$\text{Air Void} = \frac{\text{GMM} - \text{Density}}{\text{Density}}$$

$$\text{VMA} = \frac{100 - \text{Density} \times (100 - \text{kadar bitumen})}{\text{Gsb}}$$

$$\text{VFA} = \frac{100 \times (\text{VMA} - \text{Air Void})}{\text{VMA}}$$

Keterangan:

GMM = berat jenis maksimum

A = massa benda uji (gr)

D = massa tabung dengan air bersuhu 25°C (gr)

E = massa tabung dengan air dan benda uji setelah proses vakum selama 15 menit ± 2 menit (gr)

Gsb = berat jenis kering

VMA = volume rongga pecahan batu (%)

VFA = volume rongga terisi bitumen (%)

Analisis Sensitivitas

Tujuan akhir pada penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase campuran limbah masker paling optimum, yang ditinjau dari sifat stabilitas dan *flow* yang didapatkan pada campuran bitumen. Oleh karena itu, terdapat beberapa skenario persentase campuran limbah masker dengan rentang yang bervariasi dari 0,50%, 0,75%, 1,00%, 1,50%, dan 2,00%.

Tujuan utama dari analisis sensitivitas dalam penelitian ini adalah untuk menentukan sensitivitas dari penggantian campuran bitumen dengan rentang persentase limbah masker terhadap sifat bitumen yang dihasilkan yaitu stabilitas dan *flow*. Pada hasil analisis akan ditunjukkan grafik perbandingan sifat-sifat bitumen tertinjau dari bitumen tanpa campuran (bitumen normal) dengan bitumen yang menggunakan campuran limbah masker sebagai bahan pengganti bitumen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji berupa campuran bitumen perlu diuji terlebih dahulu agar sesuai dengan spesifikasi guna mendapatkan hasil campuran bitumen yang baik dan memenuhi spesifikasi. Setelah material diuji dan dinyatakan sesuai dengan persyaratan, maka tahap selanjutnya dilakukan perencanaan *mix design* yang diperoleh dari data analisis saringan pecahan batu selaras dengan Spesifikasi Umum Bina Marga. Penelitian ini menggunakan tiga kadar bitumen rencana guna memperoleh KAO pada penelitian ini. Kualifikasi pengujian material pecahan batu yang dipakai dalam proses pembuatan campuran bitumen tercantum dalam Spesifikasi Bina Marga. Hal-hal yang termasuk dalam pengujian kualitas pecahan batu berupa pengujian daya serap air, berat jenis pecahan batu, keausan pecahan batu, dan kelekatan pecahan batu dengan bitumen.

Selain menggunakan pecahan batu, material lain yang digunakan dalam membuat

suatu campuran bitumen adalah bitumen itu sendiri. Jenis bitumen yang dipakai dalam suatu perkerasan jalan lentur disesuaikan dengan peruntukan dan keadaan iklim serta cuaca di wilayah yang akan dilakukan pekerjaan struktur perkerasan jalan lentur. Sebelum digunakan, benda uji bitumen diuji untuk mengetahui nilai karakteristik dari bitumen yang akan digunakan. Pengujian ini meliputi pengujian penetrasi untuk menyesuaikan jenis bitumen yang digunakan dengan kondisi daerah bitumen dihamparkan. Pengujian titik nyala dan titik bakar dilakukan guna mengetahui skenario keselamatan kerja pada saat campuran bitumen dihamparkan di lapangan.

Pada studi ini, jenis bitumen Shell Pen 60/70 dipergunakan dalam pembuatan campuran bitumen. Setelah material dinyatakan sesuai dengan persyaratan, selanjutnya dilakukan perencanaan KAO. Perencanaan KAO pada penelitian ini dilakukan pada tiga jenis kandungan bitumen yang berbeda yang kemudian diambil satu kandungan yang menghasilkan karakteristik campuran yang memenuhi persyaratan juga paling optimum. Hasil pengujian kadar bitumen pada Tabel 1 di bawah ini akan menjadi penentu nilai KAO pada pembuatan campuran bitumen untuk perkerasan jalan lentur.

Tabel 1. Penentuan Kadar Bitumen Optimum

Sifat Campuran	Syarat	Kadar Bitumen (%)		
		5,0	5,7	6,0
<i>Bulk Density</i> (%)	-	2,270	2,278	2,272
<i>Air Void</i> (%)	3,5-5,5	5,269	4,09	4,305

Tabel 1. Penentuan Kadar Bitumen Optimum (Lanjutan)

Sifat Campuran	Syarat	Kadar Bitumen (%)		
		5,0	5,7	6,0
VMA (%)	Min. 15	14,661	16,68	14,739
VFA (%)	Min. 65	68,378	75,47	75,732
Stabilitas (kg)	Min. 800	1323,3	1305	1477,89
<i>Flow</i> (mm)	2-4	4,07	3,65	5,094
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min. 250	324,848	347,53	290,124

(Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, 2018)

Dalam upaya pencarian KAO pada ketiga kandungan bitumen, diperoleh hasil kadar bitumen yang memenuhi kualifikasi perkerasan jalan oleh Bina Marga. Bitumen tersebut memiliki kadar dengan persentase 5,7%. Bitumen dengan persentase 5,0% dan 6,0% tidak memenuhi persyaratan terhadap salah satu dari sifat-sifat bitumen yang terkandung pada campuran dengan persentase bitumen tertentu. Sifat yang tidak dipenuhi, yaitu terdapat pada parameter *Void in Mineral Aggregate* (VMA), sehingga dalam pembuatan benda uji akan menggunakan kadar bitumen dengan persentase 5,7%. Setelah memperoleh hasil KAO, selanjutnya dilakukan perhitungan *Job Mix Formula* (JMF) guna menentukan komposisi pecahan batu yang sesuai dalam pembuatan benda uji. Dalam hal ini terdapat 4 ukuran pecahan batu yang digunakan, dimulai dari bin 1-bin4. Hasil perhitungan JMF ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut:

Tabel 2. *Job Mix Formula*

Material	Kadar (%)
Hot Bin-I	35
Hot Bin-II	25
Hot Bin-III	39
Hot Bin-IV	5
Material pengisi	1
Bitumen	5,7

Setelah memperoleh besarnya komposisi bahan yang akan digunakan, pembuatan benda uji mengacu pada Spesifikasi Bina Marga dan SNI. Proses pengujian dilakukan pada benda uji yang sudah didiamkan selama 24 jam, kemudian dilakukan proses perendaman selama 30 menit pada air bersuhu ruang untuk mendapatkan nilai massa jenis dari benda uji tersebut. Setelah itu, perendaman benda uji dilakukan selama 30 menit dalam bak perendaman dengan temperatur 60°C, selanjutnya uji Marshall dilakukan. Benda

uji dari pengujian Marshall kemudian dihancurkan dan dipanaskan kembali untuk selanjutnya dilakukan pengujian GMM. Proses pengujian ini dilakukan dengan menghilangkan gelembung udara dalam campuran bitumen dengan proses vakum yang dilakukan selama 15 menit. Setelah memperoleh hasil pengujian GMM, data tersebut dipergunakan dalam perhitungan selanjutnya guna mendapatkan

karakteristik campuran lainnya berupa nilai VMA, VFA, dan *air void*. Persyaratan karakteristik campuran bitumen tertuang dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Kemudian setelah nilai karakteristik campuran melalui pengujian Marshall dan pengujian GMM diperoleh, karakteristik campuran pada kelima kadar masker yang digunakan secara rinci terdapat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall dan Pengujian GMM

Sifat Campuran	Syarat	Kadar Bitumen (%)				
		Kadar Masker (%)				
		5,67 (0,5)	5,65 (0,75)	5,64 (1)	5,61 (1,5)	5,59 (2)
<i>Bulk Density</i> (%)	-	2,23	2,25	2,24	2,25	2,24
<i>Air Void</i> (%)	3,5-5,5	7,83	6,34	5,28	3,52	3,17
VMA (%)	Min. 15	16,71	16,05	16,18	15,97	16,37
VFA (%)	Min. 65	53,12	60,48	67,38	77,97	80,61
Stabilitas (kg)	Min. 800	1272,04	1009,16	1097,83	1020,36	1135,66
<i>Flow</i> (mm)	2-4	3,65	4,00	3,33	4,00	3,67
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min. 250	347,5	318,01	302,75	274,46	278,28

(Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan)

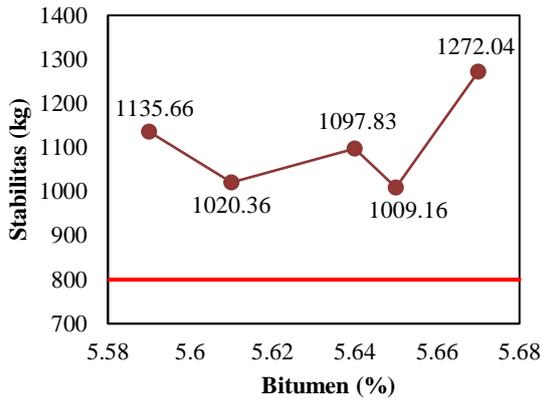
Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas yang ditinjau pada penelitian ini berupa nilai sensitif terhadap sifat-sifat campuran bitumen yang dihasilkan terhadap penggunaan limbah masker sebagai pengganti bitumen. Karakteristik campuran bitumen utama yang akan dianalisis yaitu nilai stabilitas dan *flow*, dimana persyaratan terhadap karakteristik campuran bitumen lainnya juga tetap ditinjau guna memperoleh campuran yang sesuai dengan persyaratan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, hasil pengujian dari penggunaan berbagai persentase limbah masker sebagai bahan pengganti bitumen ke dalam campuran menunjukkan bahwa penggunaan campuran bitumen dengan limbah masker sebagai bahan pengganti sensitif terhadap sifat-sifat bitumen yang dihasilkan. Pada penelitian ini, terdapat batasan jumlah benda uji yang ditetapkan pada setiap persentase limbah masker yang digunakan, yaitu tiga benda uji. Sifat-sifat campuran bitumen yang diuji menghasilkan data pengujian Marshall yang secara representatif dapat diamati pada Gambar 3.

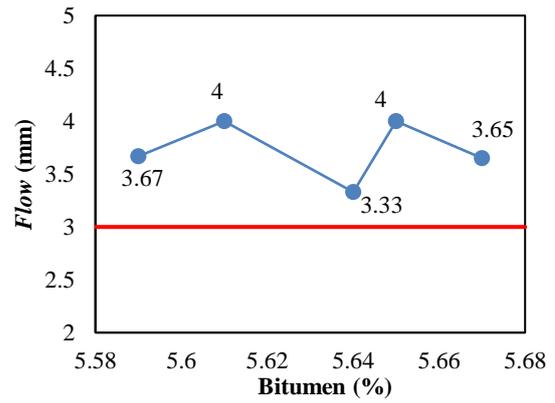
Variabel bebas pada penelitian ini merupakan nilai persentase campuran limbah masker yang ditambahkan, sedangkan variabel

tetap pada penelitian ini, yaitu sifat-sifat yang terdapat pada masing-masing campuran bitumen, dalam hal ini nilai stabilitas dan *flow*. Gambar 3 menunjukkan bahwa bertambahnya setiap kadar persentase limbah masker terhadap campuran bitumen tidak diikuti dengan bertambahnya nilai stabilitas dan *flow* yang dihasilkan. Dapat ditinjau pada Tabel 3, bahwa campuran yang memenuhi persyaratan adalah saat persentase campuran limbah masker yang terdapat dalam campuran bitumen sebesar 1,00% dan 1,50% dengan nilai stabilitas dan *flow* yang keduanya optimum saat persentase sebesar 1,50%. Titik kelelahan (*flow*) pada campuran kadar limbah masker 1,50% lebih besar dibanding dengan campuran limbah masker 1,00%, sehingga campuran bitumen dengan limbah masker sebesar 1,50% yang dihasilkan dapat menahan beban sesudah terjadinya kehancuran.

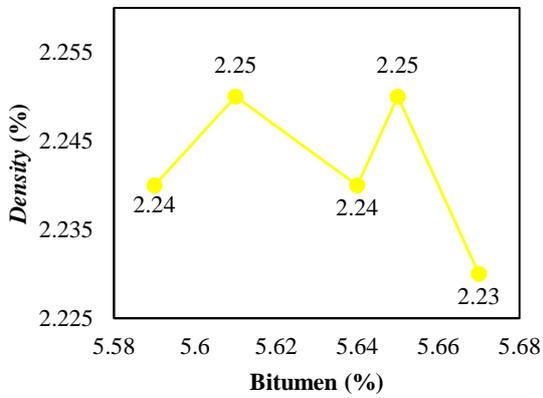
Selain kedua persentase limbah masker tersebut, terdapat sifat campuran yang tidak memenuhi spesifikasi sehingga tidak dapat diaplikasikan pada perkerasan jalan lentur. Gambar 4 menunjukkan komparasi antara nilai stabilitas dan *flow* yang didapatkan melalui kadar bitumen normal dan campuran bitumen dengan menggunakan limbah masker.



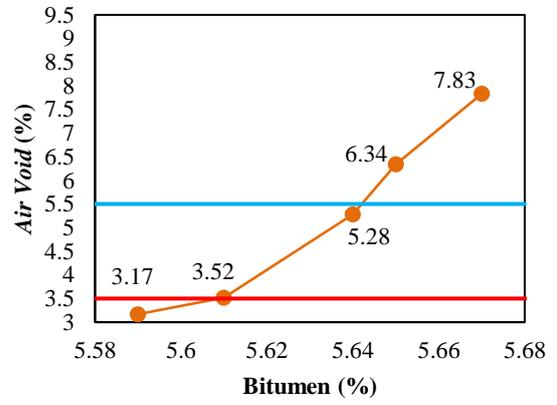
(a)



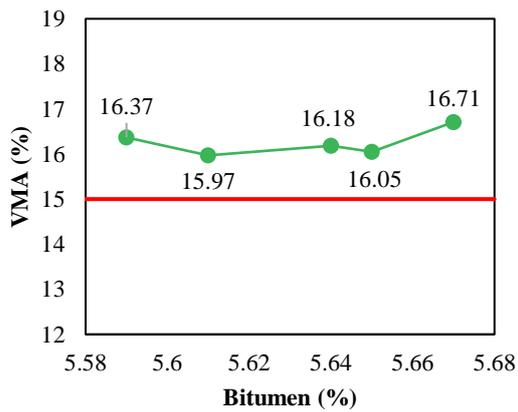
(b)



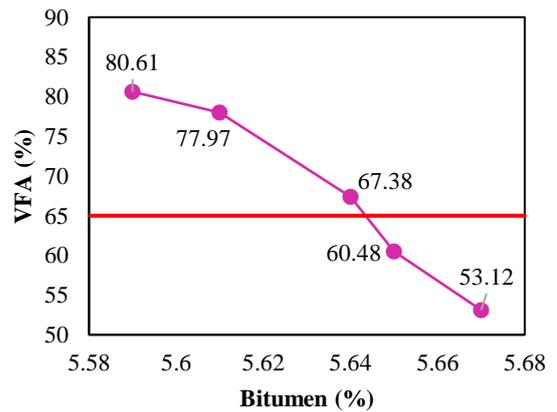
(c)



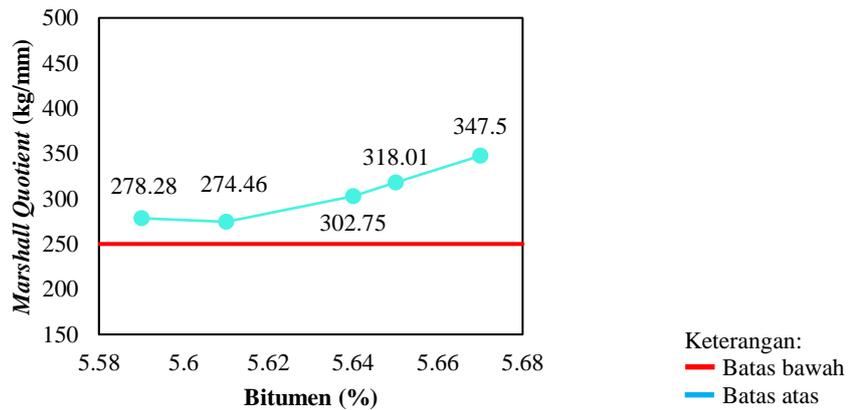
(d)



(e)

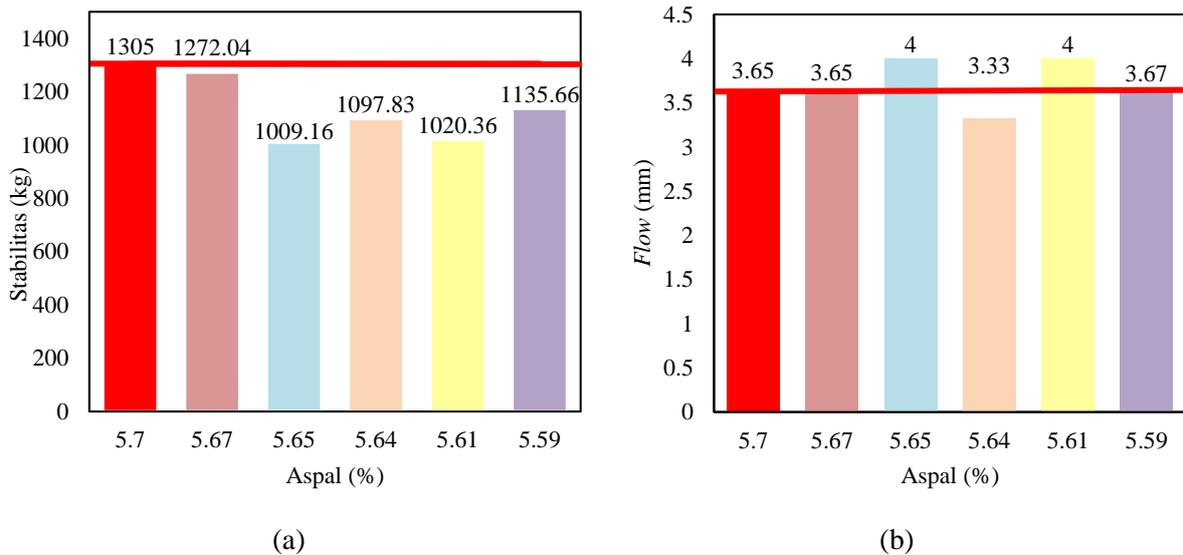


(f)



(g)

Gambar 3. Hasil Pengujian Campuran Bitumen: (a) Stabilitas, (b) Flow, (c) Density, (d) Air Void, (e) VMA, (f) VFA, (g) Marshall Quotient (Lanjutan)



Keterangan:

Garis merupakan nilai stabilitas dan flow pada kadar aspal normal, yaitu 5,7%

Gambar 4. Grafik Perbandingan Kadar Bitumen Normal dan Bitumen dengan Campuran Limbah Masker: (a) Nilai Stabilitas, (b) Nilai Flow

Gambar 4 memperlihatkan bahwa nilai stabilitas dan flow pada kadar bitumen dengan campuran limbah masker secara umum tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan. Sementara itu, nilai stabilitas dan flow optimum didapatkan pada campuran limbah masker 1,5% karena nilai yang didapat sudah memenuhi persyaratan. Meskipun nilai stabilitas yang dihasilkan dari penelitian lebih kecil daripada nilai stabilitas pada kadar bitumen normal, nilai flow yang dihasilkan lebih tinggi sehingga

menghasilkan campuran bitumen dengan sifat lentur yang lebih baik. Oleh karena itu, penggunaan campuran limbah masker dapat menjadi alternatif dalam bidang infrastruktur ramah lingkungan yang berkelanjutan guna mengurangi pencemaran.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian penggunaan *polypropylene* (PP) ke dalam campuran aspal oleh Samsul Arif

(2018) dalam Jurnal berjudul “Alternatif Penggunaan Plastik *Polypropylene* pada Campuran Aspal”. Dalam penelitian tersebut, material PP digunakan sebagai bahan tambahan campuran beraspal dengan persentase penambahan sebesar 0,00%; 2,00%; dan 4,00%. Setelah melakukan pengujian Marshall, dari penambahan PP sebesar 2,00% dan 4,00% menunjukkan hasil campuran yang lebih baik dari campuran aspal normal. Nilai rerata *flow* sebesar 3,83 mm. dengan nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 1.571 kg.

Penelitian kedua berjudul “*Repurposing of COVID-19 Single-Use Face Masks for Pavements Base/Subbase*” yang ditulis oleh Mohammad Saberian, et al., 2021, dengan metode *Hot Mix* dan bahan penyusun *Recycle Concrete Agregat (RCA)*, limbah masker sebesar 1,00%; 2,00%; dan 3,00%, dan bitumen. Penelitian ini menggunakan metode pengujian *Unconfined Compressive Strength* atau pengujian kuat tekan. Penelitian ini menghasilkan campuran terbaik berada pada campuran RCA dengan kadar limbah masker sebesar 1,00%. Dengan nilai hasil pengujian sebesar 216 KPa.

Pada penelitian berjudul “Pemanfaatan Limbah Masker Sekali Pakai sebagai Bahan Pengganti Bitumen terhadap Nilai Stabilitas dan *Flow*” ini, memanfaatkan penggunaan limbah masker yang massif di masa pandemi sebagai campuran bitumen dengan persentase penambahannya sebanyak 0,50%, 0,75%, 1,00%, 1,50%, dan 2,00%. Metode yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan pengujian Marshall yang menghasilkan nilai stabilitas dan *flow* dengan hasil penambahan optimum pada persentase 1,50%. Nilai tersebut lebih baik dibandingkan bitumen normal.

KESIMPULAN

Melalui eksperimen di atas, kesimpulan dari pengujian KAO dari bitumen Shell Pen 60/70 yang didapat melalui penelitian ini adalah 5,7% yang kemudian disubstitusi dengan campuran limbah masker sebesar 0,50%, 0,75%, 1,00%, 1,50%, dan 2,00%. Penggunaan limbah masker sebagai bahan pengganti bitumen ke dalam campuran bitumen menunjukkan campuran tersebut sensitif terhadap dengan sifat-sifat campuran yang dihasilkan. Kadar Nilai stabilitas dan *flow* optimum yang didapat dari hasil pengujian Marshall pada bitumen dengan

campuran limbah masker sebesar 1,5%. Nilai stabilitas dan *flow* optimum yang didapat berturut-turut sebesar 1020,36 kg dan 4 mm. Selain itu, hasil pengujian benda uji yang dilakukan berupa uji Marshall dan uji GMM pada campuran limbah masker sebesar 1,5% menghasilkan nilai *air void*, VFA, VMA, dan *Marshall Quotient* berturut-turut sebesar 3,52%, 15,97%, 77,97%, dan 274,46 kg/mm. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa campuran limbah masker 1,5% memenuhi persyaratan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, S. (2018). Alternatif Penggunaan Plastik Plastik Polypropylene pada Campuran Aspal. *Jurnal CivilLa Vol. 3 No. 1*.
- BAB II Prinsip Umum Protokol Kesehatan dalam Pencegahan dan Pengendalian COVID-19. (2020). Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Budiman, H. S., Rebina, R. A., Hidayah, F. N., Septyani, D. W., & Isla, S. A. (n.d.). (2022) Analisis Mekanik Lembaran Plastik Hasil Pengolahan Limbah Masker Medis Tiga Lapis dengan Variasi Berat. *Jurnal Ilmiah Cendekia Eksakta*.
- Chellamani, Veerasubramanian, D., & Balaji, R. (2013). In *Surgical face masks: manufacturing methods and classification* (pp. 320-324).
- Pangemanan, V. C., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. (2015). Pengaruh Suhu dan Durasi Terendamnya Perkerasan Beraspal Panas terhadap Stabilitas dan Kelelahan (Flow). *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.2*.
- Pusjatan. (2019). Modul 2 Pengujian Kualitas Bahan. Bandung: Balai Litbang Perkerasan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Pusjatan. (2019). *Modul 3 Pembuatan Campuran Kerja*. Bandung: Balai Litbang Perkerasan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Putri, E. E., & Andilla, M. A. (2017). Pemanfaatan Material Reclaimend Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Campuran untuk Lapisan Asphalt Pavement Concrete Wearing Coarse (AC-WC). *Jurnal Universitas Andalas*.
- Saberian, M., Li, J., Kilmartin-Lynch, S., & Boroujeni, M. (2021). Repurposing of COVID-19 Single-Use Face Masks for Pavements Base/Subbase. *Science of The Total Environment*.
- Setyaningrum, S., Salsabila, Z. N., Rahmawati, A. A., Putri, A. I., & Amalia, D. N. (2022). Coaxyl-

- Mask: Masker Ramah Lingkungan dari Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera*) dan *Acetobacter Xylinum*. *Jurnal Fluida Volume 15*.
- SNI No. 1737-1989-F tentang Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston). (n.d.).
- Spesifikasi Umum. (2005). Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. (2018). Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *JRSDD*.
- Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Sukirman, S. (2016). In *Beton Aspal Campur Panas*. Bandung: Nova.
- Sulianti, I., Amiruddin, Shaputra, R., & Daryoko. (2018). *Jurnal Forum Mekanika*. 37-38.
- Totomiharjo, S. (1994). In *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Universitas Gadjah Mada.