Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]
ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL
Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADA KINERJA CAMPURAN ASPAL

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M. Kurniawan[4)]
[1,2,3,4]Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang
Jl. Sukarno Hatta, No. 9. Kota Malang
email: [1]sugengriyanto@polinema.ac.id ,
[2]bobbyasukma@polinema.ac.id,
[3]udisubagyo@polinema.ac.id,
[4]achendri_ts@polinema.ac.id. .

ABSTRACT

Roads are a very important matter in the field of construction, Indonesia as a developing country that will enter into a developed country is trying to meet construction needs. Innovations related to the development of good road construction need to be implemented, so that road construction in Indonesia can run well and have results that are in accordance with the standards set in the Indonesian National Standard.

In the previous research using medical mask waste, the selected part was using the inside of the mask, namely polypropylene, the results obtained were satisfactory, but it was less effective in the field directly because the mask had to be sorted inside and outside, so that for further research it was made directly. the shredded mask waste is intact, so that the manufacturing process can be carried out directly without requiring time to sort out the existing waste.

The inside of a medical mask contains several polymers that are difficult to decompose, so there is a risk of contaminating the environment. Moreover, the need for masks during a pandemic is very much, and even now there is no specific way to use them optimally and safely. It is hoped that the use of medical mask waste as an asphalt mixture will increase the stability of the asphalt in the event of cracks due to the large load on the road.

The results of the research showed that the effect of adding mask waste was that there was the greatest increase in stability in the 5% mixture, and gradually decreased in the 10%, 15% and 20% mixture. Compared to the normal mixture (0%) the stability value increased by 70% in the 5% mask mixture. The effect of adding a mask mixture makes the flow value smaller, so that the asphalt has insufficient flexibility. The MQ or Marshall Quotient value is largest in the 15% mixture. A mixture of 10%, 15%, 20% does not meet the VIM values determined in the 2018 general construction specifications.
Kata kunci: Infrastructure, Roads, Asphalt, Mask Waste, Asphalt Performance

PENDAHULUAN

Pandemi ditahun 2019 – 2021 akibat covid – 19 menyisakan berbagai permasalahan pada lingkungan, salah satunya adalah limbah medis yang tidak cukup tertangani dengan baik [1]–[3]. Limbah medis cukup banyak dihasilkan oleh rumah sakit, dan bahkan oleh masing – masing orang terdampak. Dilingkup masyarakat salah satu alat medis yang wajib digunakan adalah masker [3], [4]. Terdapat berbagai jenis masker yang digunakan, namun yang standar adalah masker medis. Masker medis mengandung 2 jenis polimer utama yaitu polyetilena, dan polipropilena[5], [6]. Sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan jika material plastik polimer memiliki kelebihan untuk meningkatkan kekuatan pada material konstruksi.

Setelah pasca pandemi, Indonesia memasuki tahap baru untuk menyelesaikan masalah limbah – limbah sampah medis, limbah medis masker dapat dinamakan sebagai DMM[1], [6] atau Disposal Medical Mask, DMM banyak digunakan kembali untuk dijadikan material campuran pada kegiatan konstruksi atau kegiatan yang lainnya, DMM termasuk limbah yang sulit terurai dialam, sehingga perlu adanya pemanfaatan yang efektif.

Konstruksi jalan yang baik bergantung juga dengan kualitas aspal beton yang dihasilkan, banyak sekali jalan yang terdapat di Indonesia tidak cukup memiliki nilai stabilitas yang baik, sehingga jika dilalui kendaraan besar akan terjadi kerusakan[7]. Perlu diketahui jika kebutuhan akan infrastruktur jalan berkembang ditiap

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

tahunnya, sehingga perlu adanya inovasi untuk meningkatkan kualitas dari aspal beton yang sudah ada [8]. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai stabilitas adalah dengan menambahkan polimer dalam campuran aspal, maka dari itu pada penelitian ini dilaksanakan penelitian efek penambahan limbah masker medis (DMM) pada campuran aspal Laston AC-WC.

Pada penelitian ini DMM akan dicampurkan kedalam Aspal Laston AC-WC dengan kadar 0%,5%,10%15% dan 20%. Sesuai beberapa penelitian yang telah dilaksanakan aspal yang ditambahkan dengan polimer akan naik nilai stabilitasnya, namun dari segi standar lainnya seperti nilai VIM, VMA, VFA, flow dan Marshall Quotiens perlu juga dicek apakah sesuai dengan Standar Umum Bina Marga 2018 [9]. Nilai stabilitas yang terbesar dan parameter marshall yang memenuhi akan dipilih sebagai campuran yang layak untuk digunakan sebagai bahan campuran perkerasan jalan aspal beton.

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, dan dilaksanakan pada bulan Februari – Juli 2023.

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

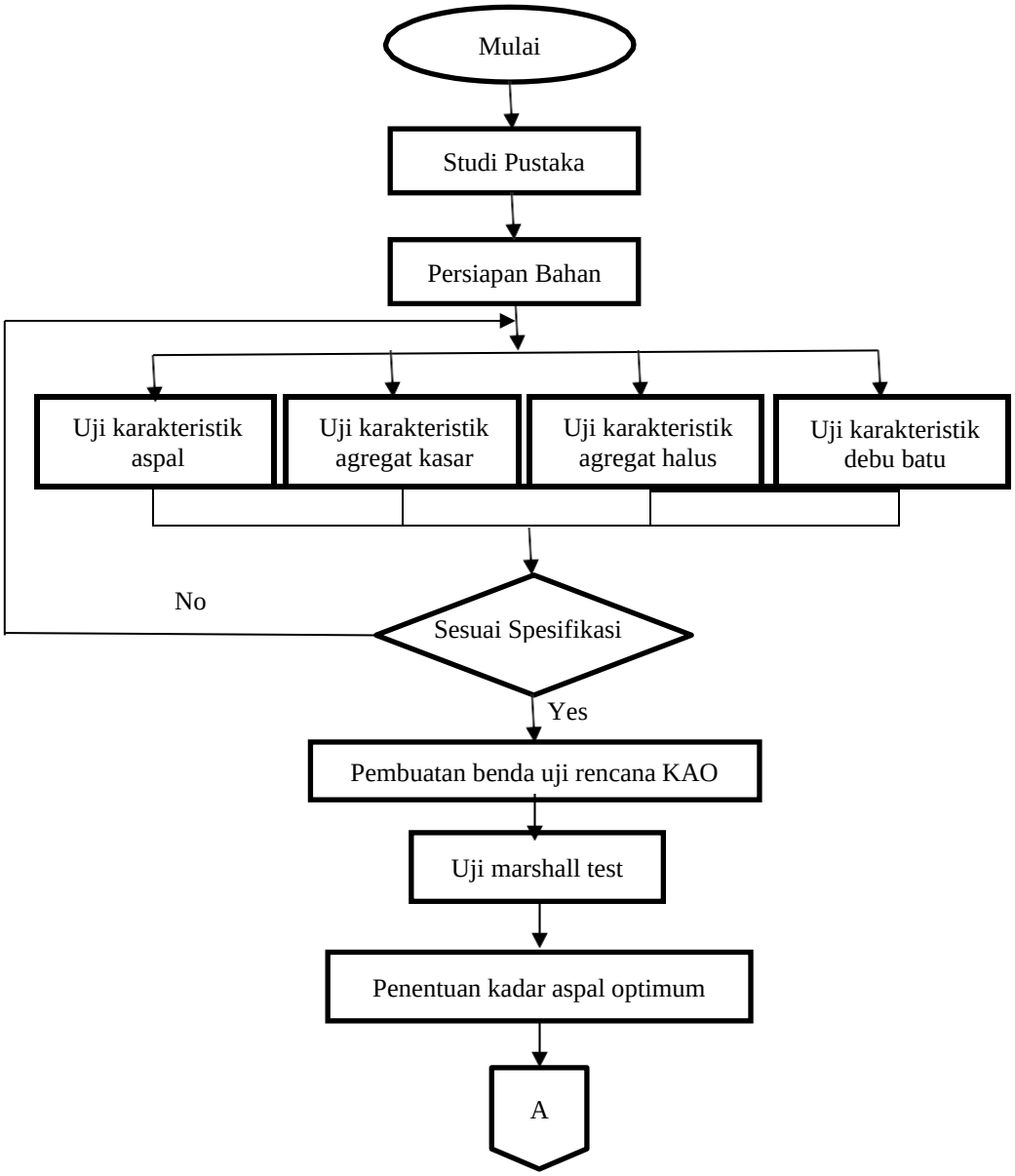
Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL

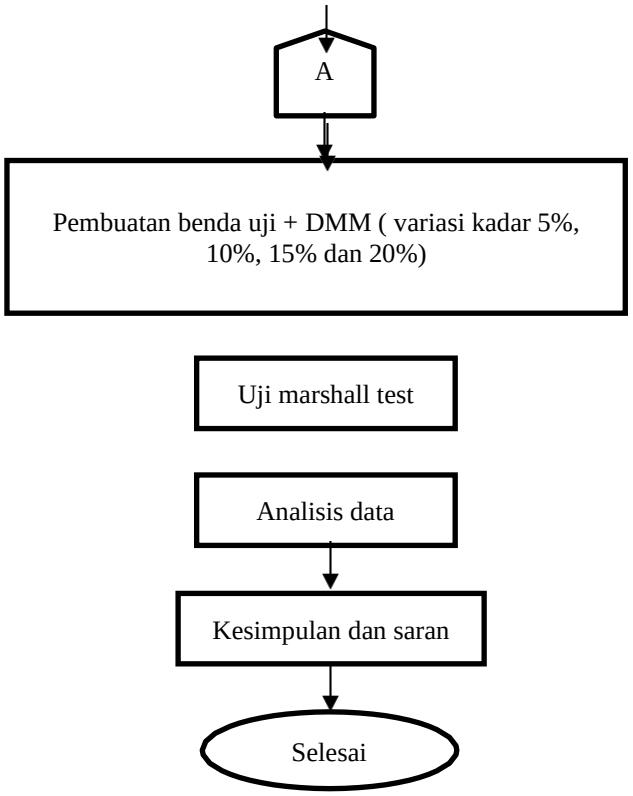
Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128

B. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alur penelitian pemanfaatan limbah masker (DMM) sebagai campuran pada aspal Lataston ACWC.



Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian.

C. Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan pada semua material penyusun campuran aspal beton yang akan diteliti.

1. Pengujian Karakteristik Agregat.
   - Agregat kasar dan halus perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristiknya.
2. Pengujian Karakteristik Aspal.
   - Penetrasi Aspal (ASTM-D-5-86)
   - Berat Jenis Aspal (ASTM-D-70-80)
   - Titik lembek (ASTM D-36-69)

D. Perencanaan Campuran

Adapun perencanaan campuran yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

1. Pada penelitian ini gradasi campuran yang digunakan adalah gradasi campuran AC-WC ini dilakukan dengan mengambil batas atas dan batas tengah dari setiap persen berat lolos saringan, sesuai dengan Revisi SNI 03-1737-1989.
2. Melakukan analisa perhitungan komposisi yang ideal dan memenuhi persyaratan spesifikasi. Komposisi didapat dari hasil trial and error dan didasarkan pada nilai spesifikasi pada campuran aspal AC-WC.
3. Setelah proses analisa didaptkan komposisi masing-masing fraksi agregat,kemudian dilanjutkan proses pengayakan agregat sesuai dengan nomor saringan yang dibutuhkan,dan sesuai dengan berat yang telah dihitung dari proses analisa.

E. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji dibuat dan dilaksanakan pengujian sesuai dengan urutan sebagai berikut :

1. Benda Uji Normal dan Kadar Aspal Awal
2. Setelah diperoleh nilai kadar aspal,selanjutnya menghitung berat jenis maksimum dengan cara

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL

Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128

mengambil data dari percobaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus.

3. Jika semua data telah diperoleh, langkah yang dilakukan berikutnya adalah menghitung berta sampel,berat aspal,berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat tiap sampel berdasarkan presentase tertahan.
4. Pencampuran bahan dilakukan secara manual dengan diaduk di atas wajan yang dipanaskan. Dilanjutkan dengan proses pemadatan standard dengan *Automatic Marshall Compactor* terhadap sampel sebanyak 2x75 kali tumbukan taip sisinya (sisi atas dan sisi bawah) dengan suhu 145^{o}C. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan tinggi standar 6,35 cm dan diameter 10 cm,kemudian benda uji didiamkan selama 24 jam hingga mengeras.
5. Benda uji Kadar Aspal Optimum (KAO)
   Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan Pb didapatkan nilai kadar aspal kadar dan nilai VIM (*Void In Mix*). Setelah itu dilanjutkan dengan uji *Marshall* sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO).
6. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran aspal dan limbah masker bekas dengan variasi presentasenya : 0%, 5%, 10%,15%,dan 20% dengan kadar aspal optimum mengikuti langkah-langkah yang sama seperti yang disebutkan sebelumnya. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian marshall kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 sampel tiap variasinya seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3.5** ,sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 22 sampel.

Tabel 1 Penentuan Jumlah Benda Uji Campuran DMM

Penentuan Kadar DMM	
Kadar DMM (%)	**Jumlah Benda Uji**
0	3
5,0	3
10,0	3
15,0	3
20,0	3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal pertamina dengan penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Jalan Politeknik Negeri Malang . pengujian yang dilakukan yaitu ,pengujian penetrasi,titik lembek dan berat jenis. Adapun hasil dari pengujian aspal dapat dilihat pada **Tabel 2.** KAO yang didapatkan dari pengujian marshall tahap 1 adalah sebesar **6%**, hal ini sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan untuk campuran normal yang digunakan.

Tabel 2 Hasil Pengujian Aspal Normal

Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Standar	keterangan
Titik lembek	^{o}C	49,3	Min 48 Maks 58	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi
Penetrasi	mm	66,2	Min 60 Maks 79	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi
Berat jenis	gr/cc	1,06	Min 1	RSNI 03-1737-1989	Memenuhi

Hasil Perhitungan Volumetric

Setelah itu dilakukan uji *volumetric*, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data diameter benda uji, tebal benda uji, berat kering benda uji,berat benda uji dalam keadaan SSD serta berat benda uji dalam air. Adapun hasil perhitungan *volumetric* seperti pada tabel dibawah ini :

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL

Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128

Tabel 3 Hasil Pengujian Volumetric dari Aspal campuran DMM

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Berat Benda Uji (gram)			Isi / Volume Benda Uji	Berat Jenis Camp.
			Berat Kering	Berat dlm. air	Berat SSD		
	A	B	C	D	E	F	G
	% Aspal Thd. Batuan	*% Aspal Thd. Camp.*	*Dari Lab.*	*Dari Lab.*	*Dari Lab.*	*E - D*	*C / F*
1	6,00	5,66	1331,0	703,5	1264,0	560,5	2,375
2	0%	5,66	1338,7	680,6	1261,7	581,1	2,304
3		5,66	1342,7	679,3	1265,8	586,5	2,289
Rerata				**687,80**	**1263,85**		**2,322**
1	6,00	5,66	1347,6	689,4	1264,0	574,6	2,345
2	5%	5,66	1348,8	693,3	1278,5	585,2	2,305
3		5,66	1344,7	707,5	1271,1	563,6	2,386
Rerata				**696,73**	**1271,21**		**2,345**
1	6,00	5,66	1353,1	719,7	1274,3	554,6	2,440
2	10%	5,66	1350,4	713,1	1270,1	557,0	2,424
3		5,66	1353,6	691,5	1271,8	580,3	2,332
Rerata				**708,10**	**1272,09**		**2,399**
1	6,00	5,66	1357,9	717,9	1282,9	565,0	2,403
2	15%	5,66	1357,2	722,6	1280,5	557,9	2,433
3		5,66	1357,7	712,6	1279,1	566,5	2,397
Rerata				**717,70**	**1280,85**		**2,411**
1	6,00	5,66	1355,2	717,3	1284,4	567,1	2,390
2	20%	5,66	1357,7	723,2	1284,5	561,3	2,419
3		5,66	1353,3	711,2	1268,1	556,9	2,430
Rerata				**717,24**	**1278,98**		**2,413**

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL

Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128

Hasil Pengujian Marshall

Berikut adalah hasil dari pengujian Marshall yang telah dilaksanakan untuk 5 jenis benda uji aspal Lataston AC-WC campuran DMM :

Tabel 4 Hasil Pengujian Aspal Normal

Kadar Campuran DMM	Stabilitas	Kelelehan/ Flow	Rongga Terisi Aspal	Rongga Dlm Camp	Berat Isi	Marshall Quotient
			(VFB)	(VIM)		
syarat	min 600		68	4-6		min 250
(%)	(kg)	(mm)	(%)	(%)	(gr/ cm3)	
0,00	1889,60	2,620	68,126	5,614	2,322	728,217
5,00	2706,90	2,580	71,753	4,686	2,345	983,988
10,00	2477,63	2,520	73,674	4,314	2,354	1055,533
15,00	2427,98	2,183	75,197	3,827	2,366	1118,277
20,00	1997,69	2,040	75,580	3,746	2,368	979,867

Rongga Terisi Aspal (VFB)

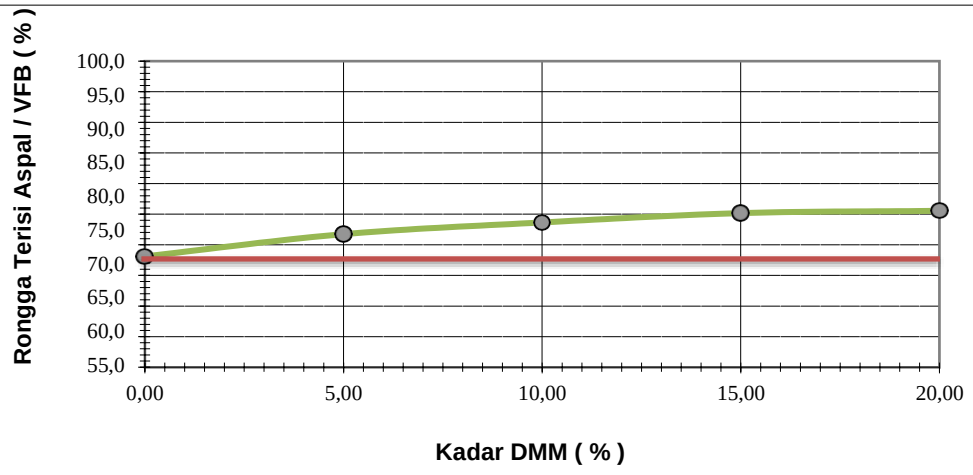
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung meningkat dengan bertambahnya limbah masker. Hal ini dikarenakan kadar limbah masker yang mencair ketika dipanaskan, bersifat seperti aspal sebagai pengisi rongga diantara agregat pada campuran lebih besar, selain itu juga pori antar agregat lebih rapat dan lebih tahan terhadap retak lelah yang lebih baik, sehingga campuran kedap terhadap air dan udara yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan lebih awet .VFB sendiri merupakan prosenase dari VMA setelah dikurangi VIM atau kandungan aspal efektif yaitu bagian dari VMA yang terisi aspal tidak termasuk di dalamnya aspal terabsorbsi oleh masing – masing butiran agregat. VFB pada kadar limbah masker 0% sampai 20% masih memenuhi minimal 68%.

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

Sugeng Riyanto, ST.,MT[1)], Udi Subagyo S.T., M.T. [2)], Bobby Asukmajaya R, S.ST.,MT[3)], Achendri M.Kurniawan[4)]

ANALISIS PENAMBAHAN PENAMBAHAN CACAHAN LIMBAH MASKER MEDIS PADAKINERJA CAMPURAN ASPAL

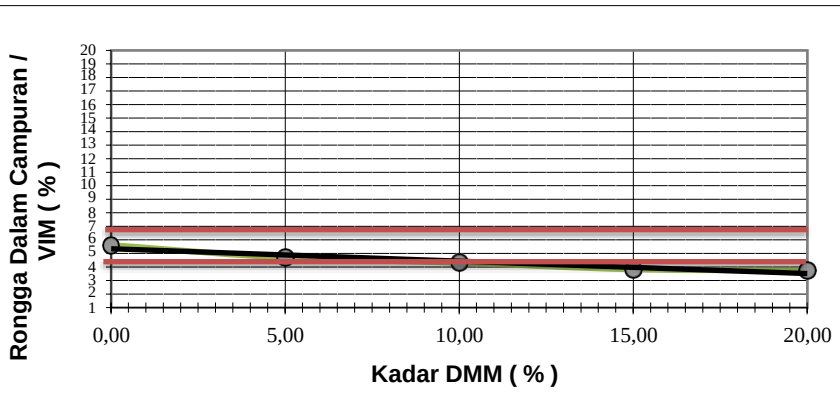
Jurnal *Qua Teknika*, (2024), No(14): Hal. 119-128



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Kadar DMM dengan Rongga Terisi Aspal Campuran

Rongga Dalam Campuran (VIM)

Nilai VIM yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu 4 s/d 6% adalah pada limbah plastik 0% , 5% dan 10% dengan nilai VIM sebesar 5,614%, 4,686%, dan 4,314% dan pada kadar 15 dan 20% mengalami penurunan sehingga masih belum memenuhi persyaratan yang memiliki nilai VIM yaitu 3,827 dan 3,746. Hasil penelitian didapat penambahan limbah masker cenderung mengurangi nilai VIM. karena limbah masker mengisi rongga campuran, sehingga campuran menjadi rapat sehingga air dan udara tidak mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal lebih tahan lama.



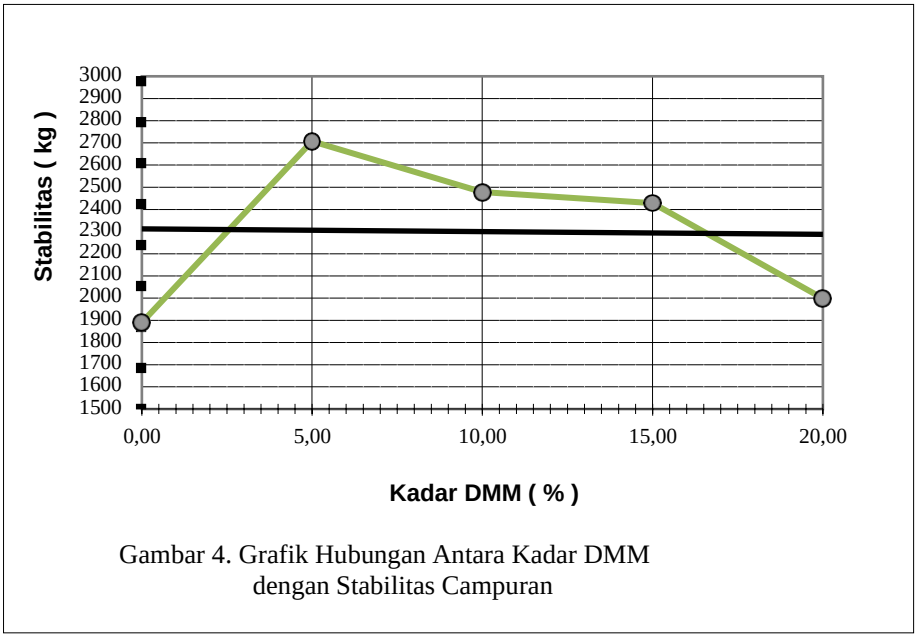
Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Kadar DMM dengan Rongga Dalam Campuran

Stabilitas

Penambahan limbah masker sampai 20 % cenderung meningkatkan nilai stabilitas. disebabkan karena limbah masker bercampur dengan aspal di dalam campuran, menyebabkan daya lekat aspal menjadi lebih kuat. Stabilitas ini merupakan kemampuan campuran beton untuk perkerasan menerima beban lalu lintas dengan tidak terjadi perubahan bentuk. . Nilai stabilitas untuk semua variasi limbah masker memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu > 600 Kg, dengan nilai stabilitas tertinggi terdapat pada campuran 5%

Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02 Bulan September Tahun 2024
ISSN 2088-2424 (Cetak) : ISSN 2527-3892 (Elektronik)
Fakultas Teknik Universitas Islam Balitar, Blitar
Https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/qua;
E-mail:muhsad93@gmail.com

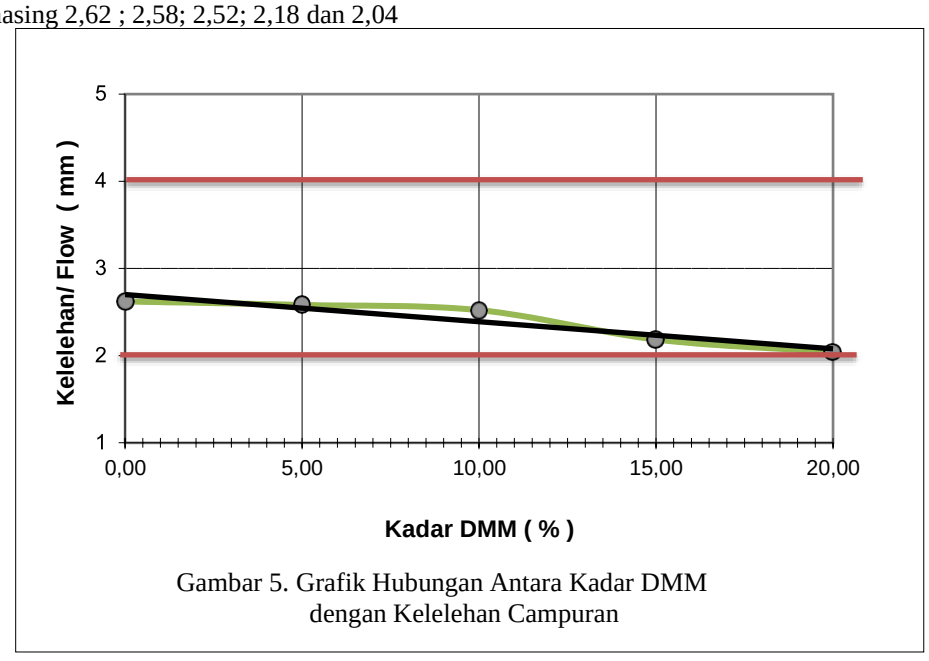
dengan kenaikan hingga 70% dibandingkan dengan campuran Aspal normal.



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Kadar DMM dengan Stabilitas Campuran

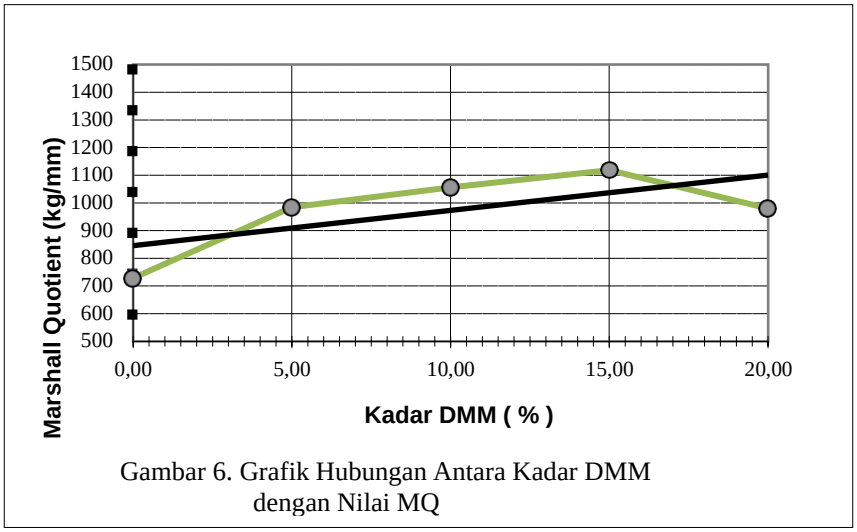
- **Kelelehan/ Flow**

  Hasil penelitian didapat nilai kelelehan terus meningkat dengan bertambahnya variasi limbah masker, karena selimut aspal bertambah besar. Beton aspal menjadi fleksibel, tidak mudah retak apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Kelelehan sendiri merupakan menunjukan deformasi beton aspal akibat pembebanan. Nilai kelelehan yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi yaitu 2 s/d 4 mm adalah pada limbah masker 0% sampai 20% dengan nilai flow masing – masing 2,62 ; 2,58; 2,52; 2,18 dan 2,04



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Kadar DMM dengan Kelelehan Campuran

- **Marshall Quotient (MQ)**
  Nilai Marshall Quotien naik dengan penambahan limbah masker, mengindikasikan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran terhadap keretakan. MQ ini merupakan perbandingan antara stabilitas dan kelelehan yang juga merupakan indicator terhadap kekakuan campuran . Nilai hasil bagi Marshall untuk semua variasi limbah masker sesuai dengan spesifikasi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan. yaitu > 250 kg/mm.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Kadar DMM dengan Nilai MQ

SIMPULAN

Setelah pengujian Aspal Lataston AC-WC dengan campuran DMM telah selesai dilaksanakan didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Nilai rancangan kadar aspal optimum untuk campuran aspal normal Lataston AC-WC didapatkan dari hasil marshall 1 adalah 6%.
2. Perbandingan aspal normal dengan aspal dengan campuran DMM didapatkan jika aspal DMM dapat memiliki nilai stabilitas yang lebih baik, terjadi kenaikan hingga 70% nilai stabilitas pada campuran 5% DMM, dan berangsur menurun di 10-20%. Selain itu campuran yang memenuhi standar umum bina marga 2018 adalah campuran 0%, 10% dan 15%, dengan campuran yang paling optimal jika ditinjau dari hasil pengujian marshall adalah pada campuran 5%.

REFERENSI

[1] S. Kheirabadi and A. Sheikhi, “Recent advances and challenges in recycling and reusing biomedical materials,” *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 38, p. 100695, 2022, doi: 10.1016/j.cogsc.2022.100695.

[2] E. Yalcin, A. Munir Ozdemir, B. Vural Kok, M. Yilmaz, and B. Yilmaz, “Influence of pandemic waste face mask on rheological, physical and chemical properties of bitumen,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 337, no. February, p. 127576, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127576.

[3] P. C. Ojha, S. S. Satpathy, A. K. Ojha, L. B. Sukla, and D. Pradhan, “Overcoming challenges due to enhanced biomedical waste generation during COVID-19 pandemic,” *Sci. Total Environ.*, vol. 832, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155072.

[4] M. Saberian, J. Li, S. Kilmartin-Lynch, and M. Boroujeni, “Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase,” *Sci. Total Environ.*, vol. 769, p. 145527, 2021, doi:

10.1016/j.scitotenv.2021.145527.

[5] G. Wang *et al.*, "Use of COVID-19 single-use face masks to improve the rutting resistance of asphalt pavement," *Sci. Total Environ.*, vol. 826, p. 154118, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154118.

[6] D. Zhang, Y. Guo, Z. Liu, P. Xu, Z. Ma, and J. Zhan, "Laboratory investigation on added-value application of the COVID-19 disposable mask in hot mix asphalt (HMA)," *Sci. Total Environ.*, vol. 860, no. November 2022, p. 160243, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160243.

[7] A. Susilowati, E. Wiyono, and P. Pratikto, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas," *Bangun Rekaprima*, vol. 7, no. 2, pp. 15–21, 2021.

[8] I. N. A. Thanaya, I. G. R. Puranto, and I. N. S. Nugraha, "Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks," *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 22, no. 2, p. 77, 2016, doi: 10.14710/mkts.v22i2.12875.

[9] Diretorate General of Highways, "Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)," *Minist. Public Work. Hous.*, no. Oktober, p. 1036, 2020.