

PENGARUH PENAMBAHAN CAMPURAN SERBUK BATA MERAH DAN LIMBAH PLASTIK PADA ASPAL AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL*

Oktavianto Eko Nugroho^{*1}, Ahmad Hidayawan², Dhonna Meylida³, Beni Setiyanto⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Batik Surakarta

e-mail : ^{*1}oktaviantoekonugroho@gmail.com, ²hidayawan11@gmail.com, ³dmeylida@gmail.com ,
⁴benisetiyanto09@gmail.com

Abstrak

Banyaknya limbah plastik yang sulit terurai dan serbuk bata merah adalah partikel kecil yang dapat terangkat ke udara dan menyebabkan polusi, terutama di area tempat produksi atau saat bangunan dibongkar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan serbuk bata merah dan limbah plastik terhadap karakteristik *Marshall*. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan variasi serbuk bata merah 1%, 3%, 4% dan limbah plastik 2%, 3%, 7%. Pembuatan sampel dilakukan dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, serbuk bata merah, dan limbah plastik. Uji kuat tekan dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder pada usia 1 hari. Hasil menunjukkan bahwa penambahan serbuk bata merah dan limbah plastik 1%, 2% menghasilkan kuat tekan 384 kg/mm, sedangkan serbuk bata merah 3%, limbah plastik 3% menghasilkan kuat tekan 303,2 kg/mm, dan serbuk bata merah 4%, dan limbah plastik 7% menghasilkan kuat tekan 258,3 kg/mm. Penelitian ini membuktikan bahwa serbuk bata merah dan limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai material inovasi yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Kuat Tekan, Plastik, Serbuk Bata Merah

Abstract

The large amount of non-biodegradable plastic waste and red brick powder, which consists of fine particles that can become airborne and cause pollution especially in production areas or during building demolition poses environmental challenges. The aim of this study is to analyze the effect of varying amounts of red brick powder and plastic waste on the Marshall characteristics. This research was conducted using an experimental method with red brick powder variations of 1%, 3%, and 4%, and plastic waste variations of 2%, 3%, and 7%. Sample preparation was done by mixing coarse aggregate, fine aggregate, 60/70 penetration asphalt, red brick powder, and plastic waste. Compressive strength tests were conducted on cylindrical specimens at 1-day age. The results showed that the addition of 1% red brick powder and 2% plastic waste produced a compressive strength of 384 kg/mm², while 3% red brick powder and 3% plastic waste resulted in 303.2 kg/mm², and 4% red brick powder and 7% plastic waste resulted in 258.3 kg/mm². This study proves that red brick powder and plastic waste can be utilized as innovative and environmentally friendly materials.

Keywords: Compressive Strength, Plastic, Red Brick Powder

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan mengalami peningkatan yang signifikan, terutama dalam hal perbaikan dan peningkatan kualitas jalan yang sudah ada. Perencanaan dan perbaikan jalan dilakukan dengan mempertimbangkan umur layanan yang disesuaikan dengan kondisi lalu lintas yang ada. Namun pada praktiknya, kerusakan jalan kerap terjadi sebelum mencapai usia rencana yang telah ditetapkan. Faktor-faktor seperti beban kendaraan yang melebihi batas, minimnya

pemeliharaan, serta mutu campuran aspal yang belum maksimal menjadi penyebab utama kondisi tersebut. Guna meningkatkan ketahanan dan kualitas jalan agar sesuai dengan usia rencana, dibutuhkan penelitian terkait pemanfaatan bahan tambahan dalam campuran aspal. Serbuk bata merah dan limbah plastik menjadi salah satu alternatif material yang dapat digunakan.

Bata merah merupakan material yang terbuat dari tanah liat, baik murni maupun dicampur dengan bahan lain, kemudian dibakar pada suhu tinggi hingga mencapai tingkat kekerasan yang membuatnya tidak mudah hancur saat direndam dalam air. Bata berkualitas umumnya terdiri dari campuran pasir (silika) dan tanah liat (alumina) dalam proporsi tertentu. Ketika ditambahkan sedikit air, campuran ini akan menjadi plastis atau mudah dibentuk. Sifat plastis tersebut sangat penting karena memungkinkan pembentukan bata tanpa menimbulkan penyusutan, retak, atau deformasi seperti pelengkungan selama proses pengeringan. (Hans, t.t.2023). Plastik terus mengalami lonjakan penggunaan secara global, diperkirakan antara 500 miliar hingga 1 triliun unit per tahun. Jika dibentangkan, sampah plastik tersebut dapat melapisi bumi hingga sepuluh kali. Setiap tahun, lebih dari 17 miliar kantong plastik dibagikan gratis oleh supermarket di seluruh dunia (Utomo,2010).

Penelitian ini menitikberatkan pada penggunaan limbah plastik dan serbuk bata merah sebagai material tambahan dalam campuran aspal tipe AC-WC. Penelitian ini diharapkan mampu mengurangi dampak lingkungan akibat limbah plastik, meningkatkan nilai kuat tekan, serta menghasilkan campuran aspal yang lebih ramah lingkungan dan lebih hemat biaya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah serbuk bata merah dan limbah plastik sebagai bahan campuran pada aspal AC-WC. Secara khusus, penelitian ini juga ditujukan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk bata merah dan limbah plastik terhadap kuat tekan. Dengan mengkaji aspek-aspek tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam mengembangkan alternatif material konstruksi jalan yang ramah lingkungan.

Hasil dari penelitian ini memberikan sejumlah manfaat strategis, antara lain membantu mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah plastik dan serbuk bata merah melalui pemanfaatannya sebagai bahan tambahan dalam aspal AC-WC. Selain itu, penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan inovasi dalam bidang material konstruksi jalan, khususnya yang berbasis limbah non-konvensional yang selama ini kurang dimanfaatkan. Di samping itu, temuan dari penelitian ini dapat menjadi referensi akademik dan teknis yang relevan bagi penelitian lanjutan di bidang eksperimen material konstruksi jalan, serta dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa, akademisi, dan praktisi teknik sipil dalam pengembangan teknologi konstruksi berkelanjutan.

2. METODE

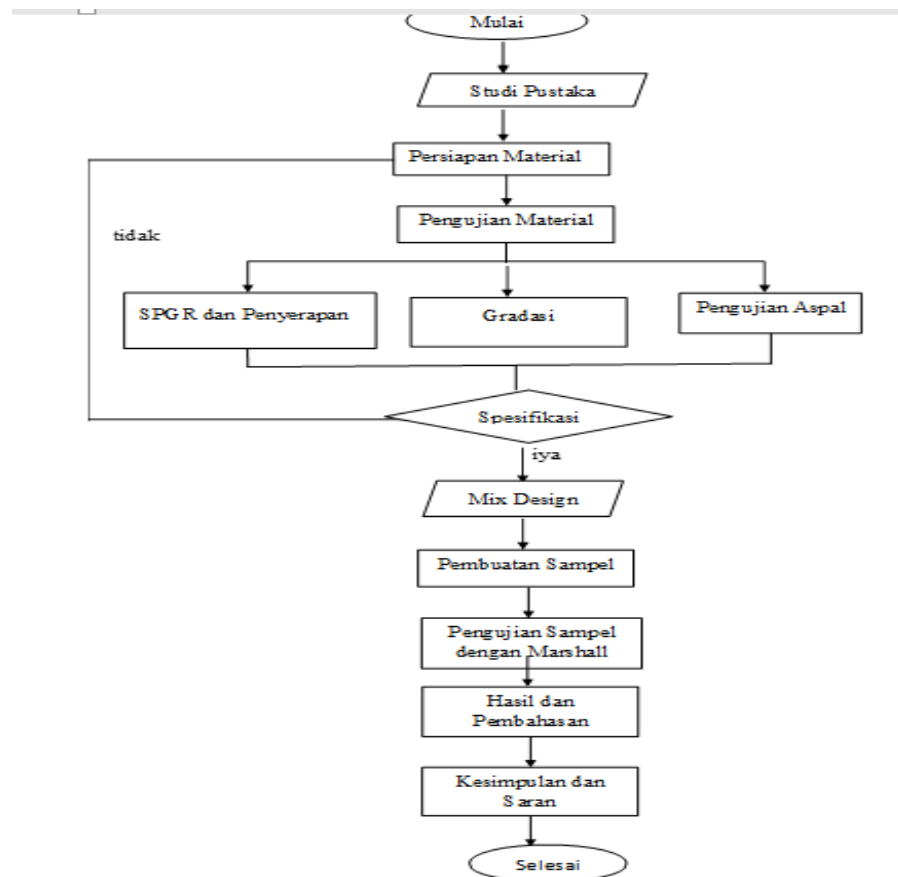
Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium guna menguji dampak penambahan serbuk bata merah dan limbah plastik terhadap karakteristik Marshall. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian langsung di laboratorium, mencakup pengujian berat jenis, penyerapan agregat, serta uji Marshall. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari literatur seperti SNI, Spesifikasi Bina Marga 2018, dan hasil penelitian terdahulu yang mendukung penyusunan rancangan campuran serta prosedur uji.

Model penelitian ini dirancang dengan pendekatan eksperimental, dimana campuran aspal dibuat dengan tiga variasi presentase bahan tambahan. Variasi serbuk bata merah dengan presentase 1%, 3%, 4% dan untuk limbah plastik dengan variasi presentase 2%, 3%, 7%. Setiap

variasi diuji untuk mengetahui nilai kuat tekan pada umur 1 hari, dengan menggunakan sampel silinder untuk uji kuat tekan.

Variabel terikat dalam penelitian ini kuat tekan. Kuat tekan aspal adalah besarnya kekuatan aspal dalam menerima beban hingga mengalami keretakan atau kehancuran.

Analisi data yang dilakukan dengan membandingkan hasil data kuat tekan. Hasil uji disajikan dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar pendukung untuk memperjelas perbedaan nilai kuat tekan pada tiap variasi campuran. Dari analisis ini kita dapat mengetahui kualitas aspal yang dipengaruhi oleh penambahan limbah plastik dan serbuk bata merah.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

2.1. Perkerasan

Perkerasan jalan memiliki peranan krusial dalam menunjang kelancaran arus lalu lintas. Secara umum, terdapat tiga jenis perkerasan yang digunakan, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit. Diantara ketiga jenis perkerasan tersebut yang paling dominan di gunakan adalah jenis perkerasan lentur (Flexible Pavement).

2.2. Aspal AC-WC

Aspal AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) merupakan bagian paling atas dari struktur perkerasan jalan yang menggunakan aspal. Lapisan ini tergolong dalam jenis perkerasan lentur dan berperan sebagai lapisan aus yang secara langsung menanggung beban lalu lintas kendaraan.

Salah satu material yang digunakan dalam lapisan perkerasan jalan adalah aspal beton, dengan jenis yang paling umum yaitu Laston Lapis Aus (AC-WC), yang berfungsi sebagai lapisan atas permukaan jalan (Saragi et al., 2017). Campuran AC-WC umumnya terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler*.

2.3. Agregat Kasar

Fraksi Agregat kasar berukuran 4,75 mm yang tertahan di saringan No. digunakan dalam perancangan perkerasan dan harus memiliki kekuatan tinggi, bersih dari kontaminan seperti lempung, serta sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6.

2.4. Agregat halus

Terlepas dari asal materialnya, agregat halus harus berupa pasir atau hasil pemrosesan batu pecah yang lolos saringan No.4 (4,75 mm), sesuai dengan ketentuan dalam Bina Marga 2018 Revisi 2. Agregat halus berfungsi untuk meningkatkan stabilitas campuran dan meminimalkan deformasi permanen melalui interaksi gaya gesek dan penguncian antar partikel.

2.5. Mineral Pengisi (*filler*)

Filler adalah material halus yang dapat melewati saringan nomor 200. Bahan ini dapat berasal dari abu batu, kapur, semen Portland, atau bahan sejenis lainnya. *Filler* dalam campuran aspal beton memiliki peranan krusial untuk menjamin bahwa campuran tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan. Fungsi utama *filler* adalah untuk menurunkan sensitivitas terhadap suhu, mengurangi rongga udara dalam campuran, serta meningkatkan tingkat kepadatan. Meskipun demikian, proporsi *filler* dalam campuran harus dijaga seimbang. Kelebihan *filler* dapat membuat campuran bersifat getas dan mudah mengalami retak akibat tekanan lalu lintas, sedangkan kekurangan *filler* dapat menyebabkan campuran melembek saat menghadapi suhu tinggi.

2.6. Serbuk Bata Merah

Berdasarkan pernyataan Prayuda et al. (2018), bata merah merupakan material umum dalam pembuatan dinding bangunan. Proses pembuatannya melibatkan pembakaran tanah liat pada temperatur tinggi hingga menghasilkan warna merah. Material ini memiliki sifat tahan terhadap api dan mampu menahan beban tekan. Dalam penelitian ini, serbuk bata merah dimanfaatkan sebagai bahan tambahan atau campuran. Saleh (1995) menyatakan bahwa serbuk bata merah berasal dari bata merah, yakni material berbasis tanah liat alami yang diproses melalui beberapa tahapan, termasuk penambahan air, pengempaan, pencampuran bahan tambahan, pemadatan partikel, dan pembakaran pada temperatur tertentu (Wiqoyah, 2013).

2.7. Limbah Plastik

Limbah plastik LDPE (*Low-Density Polyethylene*) merupakan jenis limbah yang berasal dari polietilena berdensitas rendah, yang umum digunakan dalam pembuatan produk-produk ringan dan fleksibel. Setelah tidak digunakan lagi, produk-produk berbahan LDPE menjadi limbah plastik LDPE. Contoh Limbah Plastik LDPE adalah Kantong belanja plastik (kresek), Bungkus roti, Pelapis karton minuman, Plastik pembungkus makanan (*cling wrap*), Kantong sampah.

2.8. Pengujian Marshall

Untuk mendapatkan karakteristik serta nilai stabilitas dan *flow* dilakukan pembacaan dial secara langsung, dilakukan pengujian campuran menggunakan Marshall Test. Bruce Marshall dari Misisipi State Highway Department sekitar tahun 1940-an memperkenalkan metode ini untuk pertama kalinya. Nilai VIM, VMA, VFA dan *marshall quotient* juga akan didapatkan dalam Marshall Test ini. Metode Marshall Test digunakan untuk menguji campuran aspal beton yang mana ini termasuk dalam penelitian elastis modulus.

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) pada pengujian campuran Laston AC-WC dilakukan dengan menggunakan lima variasi kadar aspal, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, di mana masing-masing kadar diuji dengan 15 sampel. Hasil dari uji *Marshall* terhadap campuran aspal beton AC-WC ini menjadi dasar dalam penetapan komposisi *Job Mix Formula*

(JMF). Penelitian ini melibatkan penggunaan serbuk bata merah dan limbah plastik sebagai bagian dari campuran.

Perhitungan kadar aspal optimum dirumuskan sebagai berikut :

Rumus untuk memperkirakan kadar aspal rencana awal adalah sebagai berikut:

$$Pb = (0,035 \times CA) + (0,045 \times FA) + (0,18 \times FF) + K \dots\dots\dots(1)$$

Dengan keterangan:

- Pb : Perkiraan awal kadar aspal (%)
- CA : Agregat kasar
- FA : Agregat halus
- FF : Bahan pengisi (filler)
- K : Nilai konstanta

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemeriksaan Material

Sebelum memasuki tahap perencanaan campuran (*mix design*), dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan terhadap material yang akan digunakan dalam pembuatan aspal inovatif. Hasil dari pemeriksaan material di laboratorium disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan material aspal

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1.	Agregat Kasar batu pecah max.3/4	23%	Memenuhi
2.	Agregat Kasar batu pecah max.1/2	30%	Memenuhi
3.	Agregat Halus abu batu	47%	Memenuhi
4.	Berat jenis maksimum	2,377 gr	Memenuhi
5.	Berat jenis bulk rata-rata agregat	2,548 gr/cc	Memenuhi
6.	Berat jenis efektif agregat	2,574 gr/cc	Memenuhi
7.	Aspal Pen 60/70	65	Memenuhi
8.	Kadar aspal	5,40%	Memenuhi

Dari hasil pengujian material yang akan digunakan dalam pembuatam aspal inovasi dapat digunakan karena telah memenuhi standar yang ditelah ditentukan.

3.2 Perencanaan Campuran Aspal

Komposisi campuran aspal dirancang dengan mempertimbangkan kondisi lapangan. *Mix Design* untuk aspal inovasi dengan rincian campurannya sebagai berikut :

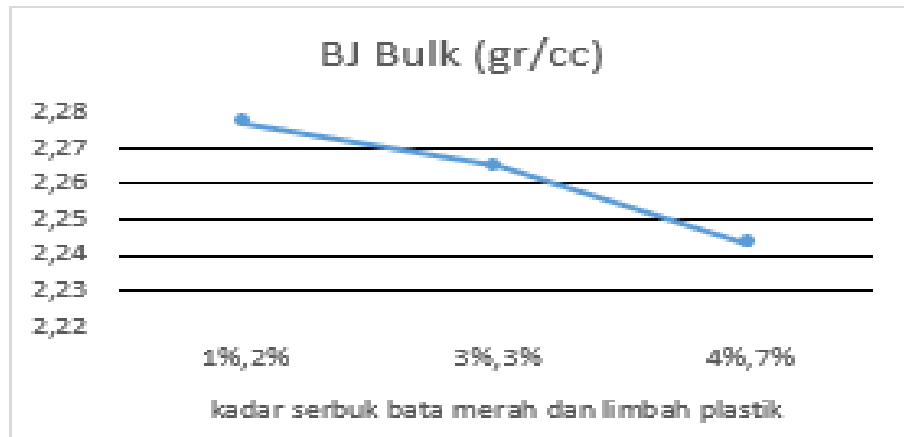
Tabel 2. *Mix Design*

TOTAL BERAT BENDA UJI		1200	1200	1200				
FILLER		12	36	48				
BERAT TOTAL		1188	1164	1152				
KADAR ASPAL BATA MERAH + LDPE								
SARINGAN	lolos	tertahan	A		B		C	
			5,4%		5,4%		5,4%	
			bata 1% + LDPE 2%		bata 3% + LDPE 3%		bata 4% + LDPE 7%	
			indiv	kmltf	indiv	kmltf	indiv	kmltf
1"	100,00%	0,00%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	100,00%	0,00%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/2"	95,88%	4,12%	46,3	46,3	45,3	45,3	44,9	44,9
3/8"	84,36%	11,52%	129,5	175,8	126,9	172,2	125,6	170,4
# 4	63,97%	20,39%	229,1	404,9	224,5	396,7	222,2	392,6
# 8	41,96%	22,01%	247,4	652,3	242,4	639,1	239,9	632,5
Pan		41,96%	471,6	1123,8	462,0	1101,1	457,3	1089,8
total berat	100,0%		1124		1101		1090	
ASPHALT			64,2		63		62	
LDPE			1,3		1,9		4,4	
ASPAL SETELAH DIKURANGI INOVASI			62,9		61,0		57,9	
total berat + ASPAL			1188		1164		1152	

3.3 Pengujian Marshall

Tujuan dari uji *Marshall* adalah untuk menentukan nilai-nilai karakteristik campuran, termasuk densitas, stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, serta *Marshall Quotient (MQ)*, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 06-2489-1991. Berikut disajikan grafik hasil uji Marshall dengan penambahan campuran serbuk bata merah dan limbah plastik.

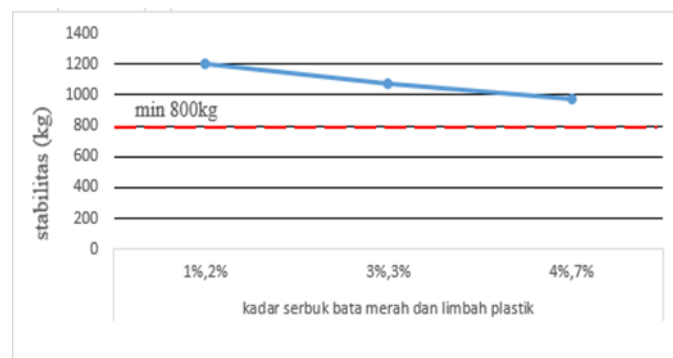
a. Kepadatan (*density*)



Grafik 1. Hasil Nilai Berat Jenis

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar inovasi menyebabkan penurunan nilai berat jenis bulk (BJ bulk). Nilai rata-rata BJ bulk tertinggi tercatat pada campuran dengan kadar inovasi 1% dan 2%, yaitu sebesar 2,277 gr/cc. Selanjutnya, terjadi penurunan bertahap pada nilai rata-rata berat jenis, di mana pada kadar 3% dan 3% turun menjadi 2,265 gr/cc, dan mencapai nilai terendah pada kombinasi kadar 4% dan 7%, yaitu sebesar 2,243 gr/cc, serta pada kadar 7% sebesar 2,03 gr/cc.

b. Stabilitas



Grafik 2. Hasil Nilai Stabilitas

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa peningkatan kadar bahan inovatif menyebabkan penurunan nilai stabilitas pada campuran aspal, Nilai stabilitas mengalami penurunan, dengan puncak rata-rata stabilitas tercatat pada salah satu kadar inovasi 1%, 2% dengan nilai 1208 kg. Kemudian, nilai rata-rata stabilitas menurun

secara bertahap, yaitu pada kadar inovasi 3%, 3% menjadi 1071 kg, dan nilai terendah pada kadar inovasi 4%, 7% dengan nilai sebesar 975 kg.

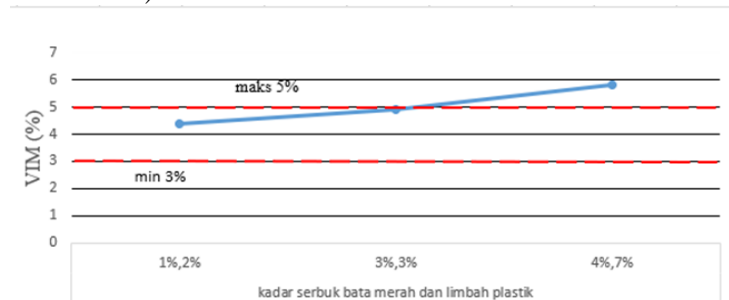
c. *Flow*



Grafik 3. Hasil Nilai *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya kadar bahan inovatif, nilai pelelehan dalam campuran aspal mengalami peningkatan. Nilai rata-rata *flow* terendah terjadi pada kadar inovasi 1%, 2% dan 3%, 3% dengan nilai 3,5 mm. Kemudian, *flow* meningkat pada kadar inovasi 4%, 7% menjadi sebesar 3,8 mm.

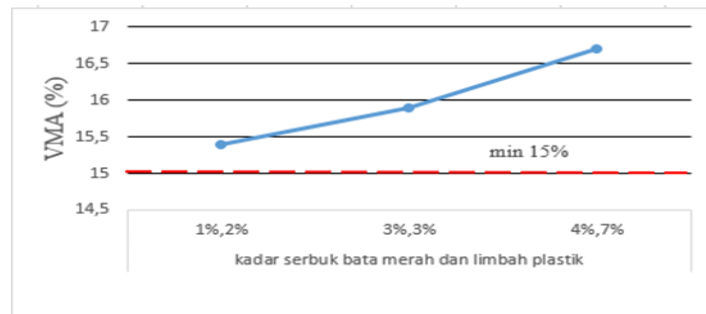
d. VIM (*Void in the Mix*)



Grafik 4. Hasil Nilai VIM

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kadar bahan inovatif cenderung menyebabkan kenaikan nilai rongga dalam campuran (VIM). Nilai VIM rata-rata terendah tercatat pada kadar inovasi 1% dan 2%, yaitu sebesar 4,4%. Selanjutnya, nilai rata-rata VIM meningkat secara bertahap, yaitu mencapai sebesar 5,4% pada kadar 3%, 3% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 5,8% pada kadar 4%, 7%.

e. VMA (*Void Minerale Agregate*)



Grafik 5. Hasil Nilai VMA

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kadar inovasi, nilai rongga dalam agregat (VMA) cenderung meningkat. Nilai rata-rata VMA terendah terjadi pada kadar inovasi sebesar 1%, 2% dengan nilai 15,4%. Selanjutnya, nilai rata-rata VMA meningkat secara bertahap, yaitu sebesar 15,9% pada kadar 3%, 3%. Pada kadar 4%, 7%, mencapai nilai tertinggi sebesar 16,7%.

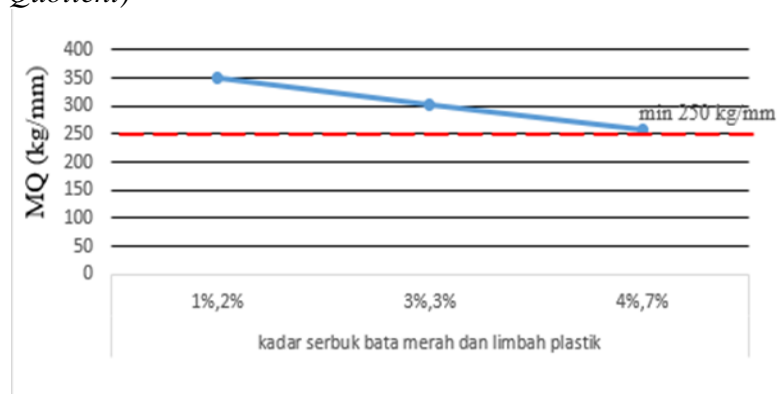
f. VFA (*Voids Filled with Asphalt*)



Grafik 6. Hasil Nilai VFA

Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa seiring dengan meningkatnya kadar bahan inovatif, nilai rongga terisi aspal (VFA) cenderung menurun. Penurunan ini terjadi Nilai rata-rata VFA tertinggi terjadi pada kadar inovasi sebesar 1%, 2% dengan nilai sebesar 71,50%. Selanjutnya, nilai rata-rata VFA menurun secara bertahap, yaitu menjadi sebesar 69,21% pada kadar 3%, 3% dan mencapai nilai terendah sebesar 65,19% pada kadar 4%, 7%.

g. MQ (*Marshall Quotient*)



Grafik 7. Hasil Nilai MQ

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa seiring bertambahnya kadar inovasi, nilai MQ (kg/mm) mengalami penurunan. Hal ini terjadi akibat berkurangnya stabilitas dan bertambahnya nilai flow, sehingga campuran menjadi lebih lentur. Nilai tertinggi terjadi pada kadar 1%, 2% sebesar 348,4 kg/mm, lalu menurun menjadi 303,2 kg/mm pada kadar 3%, 3% dan terendah sebesar 258,3 kg/mm pada kadar 4%, 7%

5. Kesimpulan dan Keterbatasan

5.1. Kesimpulan

- a. Penambahan serbuk bata merah dan limbah plastik memiliki pengaruh terhadap karakteristik *Marshall* dari campuran aspal AC-WC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran inovasi ini memengaruhi nilai-nilai seperti stabilitas, *flow*, *VIM*, *VFA*, *VMA*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Semakin tinggi kadar penambahan, terutama di atas 3–4% untuk limbah plastik dan serbuk bata merah, cenderung menurunkan stabilitas dan meningkatkan porositas (*VIM*), yang berpotensi membuat campuran menjadi lebih rapuh atau mudah retak. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun limbah tersebut dapat dimanfaatkan, dosisnya harus dikontrol agar tetap berada dalam batas optimal. 71,70% pada kadar 1% dan 2%, menurun menjadi 69,21% pada kadar 3%, dan terus turun hingga 65,19% pada kadar 4% dan 7%.
- b. Dari hasil pengujian penambahan inovasi serbuk bata merah dan limbah plastik menghasilkan campuran yang kurang baik pada kadar 4% serbuk bata merah dan 7% limbah plastik. Pengujian ini mengacu pada metode Marshall dan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), dengan parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, dan *Marshall Quotient (MQ)*.
- c. limbah plastik mampu meningkatkan kuat tekan lapisan aspal, namun hanya pada persentase tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 2% limbah plastik dan 1% serbuk bata merah menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 384 kg/mm. Namun, jika kadar plastik terlalu tinggi misalnya 7%, kuat tekan justru turun menjadi 258,3 kg/mm. Artinya, limbah plastik efektif memperkuat aspal bila digunakan secara tepat.

5.2. Saran

- a. Diperlukan studi lebih lanjut untuk mengembangkan variasi komposisi serbuk bata merah dan limbah plastik dalam campuran.
- b. Penelitian lebih lanjut perlu mempertimbangkan penggunaan limbah plastik dari jenis yang berbeda.
- c. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian senyawa kimia terhadap limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminsyah, M., & Aryanti, R. (2022). Studi Penggunaan Serbuk Bata Merah sebagai Substitusi Filler dalam Campuran Aspal. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 18(2), 148. <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.148-155.2022>
- BSN. (2008). SNI 1969:2008 - Metode Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar. Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2008). SNI 1970:2008 - Metode Pengujian Berat Jenis Agregat Halus. Badan Standardisasi Nasional.

- Maulana, M. D., Surya, A., & Rachman, T. A. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Dengan Tipe Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran Aspal Berpori. *Jurnal Penelitian Teknik*, 1(1), 61-87.
- Misbah, M., Pratiwi JF, A., Arman, A., Mulyati, M., & Rofifah, J. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BATA MERAH BUKITTINGGI SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN AC-WC DENGAN PENGUJIAN MARSHALL. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(2), 46–52. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.46-52>
- Pekerjaan, U., Jalan, K., & Jembatan, D. (n.d.). *DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA SPESIFIKASI UMUM 2018*.
- Penambahan Abu Sekam Padi Dan Serbuk Bata Merah, P., & Hans, S. (n.d.). *PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK BATA MERAH PADA CAMPURAN HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE THE EFFECT OF ADDING RICE HUSK ASH AND RED BRICK POWDER ON MIXED HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE*.
- Poerwodihardjo, F. E., & Hudoyo, C. P. (2024). Penggunaan Serbuk Batu Bata Merah Sebagai Filler Campuran Aspal AC-WC, Pengganti Semen dan Abu Batu dengan Marshall Test. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 9(2), 479–487. <https://doi.org/10.28926/briliant.v9i2.1694>
- Rayhan, M., Arif, A., Isyah Salimah, A. ', Agung, P., Agung, M., Sipil, J. T., Jakarta, N., Prof, J., & Siwabessy, G. A. (n.d.). *PROKONS: Jurnal Teknik Sipil PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BATA MERAH TERHADAP NILAI CBR*.
- Simanjuntak, R. A., & Radam, I. F. (2021). Pengaruh Penambahan Bahan Aditive Anti Stripping Terhadap Kinerja Campuran Aspal. *JURNAL RIVET*, 1(02), 99-108.
- Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional. 2003. "Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall RSNI M-01-2003"
- Susanti, E. D., Rifqi, M. G., Shofi'ul Amin, M., Sipil, J. T., & Banyuwangi, P. N. (2021). *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC*. 2(2), 7–13. <http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Telehala, A. (2023). Plastik Sebagai Bahan Campuran Aspal. *Jurnal Sosial Teknologi*, 3(2), 139-152.
- Wibowo, A., Widhiastuti, Y., & Andi Tjandra, A. (2022). Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1). <https://doi.org/10.56071/deteksi.v7i1.398>
- Zacky Ardhyhan, M., Thayeb, S., Langsa Lama, K., & Langsa, K. (n.d.). *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE Pada Lapisan Perkerasan Aspal AC-WC*.
- Zahra, A., Sudarsono, W. A., Hartatik, N., Rizkiardi, A., Prasetyo, Y. D., Pelaksanaan, B. B., Nasional, J., & Timur -Bali, J. (2024). *PEMANFAATAN LIMBAH PRODUKSI BATA MERAH UD. BATA PRES MRH SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN AC-BC*. 8, 1–8. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir>