



JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

1. **SUBSTITUSI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI AGREGAT HALUS TERHADAP CAMPURAN LASTON AC-BC**
(Ahmad Rizqi Muyassar, Syarwan, Edi Majuar)
2. **ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SP. BANGKA JAYA-GEULUMPANG SULU TIMU KABUPATEN ACEH UTARA**
(Amaliaburga Gianina Gleda, Chairil Anwar, Khamistan)
3. **EVALUASI KINERJA OPERASIONAL RUANG PEDESTRIAN PADA LAPANGAN MERDEKA KOTA MEDAN**
(Aminah Jahara Nst, Zairipan Jaya, Ismail)
4. **ANALISIS PENGENDALIAN BIAYA DAN WAKTU (COST CONTROL FRAMEWORK) PENINGKATAN JALAN UER LAH-SIMPANG LANCANG KABUPATEN BENER MERIAH**
(Fajri Jayusman, Jafar Siddik, Zulfikar)
5. **SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BESI PADA CAMPURAN LASTON AC-WC**
(Iman Saputra, Rosalina, Cut Yusnar)
6. **PENGARUH ABU CANGKANG KERANG DARAH (ANADARA GRANOSA) SEBAGA ALTERNATIF SUBSTITUSI SEMEN PADA MORTAR TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR**
(Kurniawan Temas Mico Arita, Amir Fauzi, Ruhana)
7. **KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN ADITIF (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE)**
(Laisa Isma, Mulizar, Aiyub)
8. **PEMANFAATAN LIMBAH ABU BATU BARA (FLY ASH) UNTUK PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG**
(Muhammad Andryansyah Siregar, Gusrizal, Syukri)
9. **ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN PONDOK BARU SAMAR KILANG KABUPATEN BENER MERIAH**
(Saiful Fahmi, Bakhtiar A Wahab, Munardy)
10. **PENGGUNAAN AGREGAT KARAKTERISTIK DUA LOKASI BERBEDA PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-WC**
(Zuryati, Sulaiman Ar, Musbar)

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

Penasehat

Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe

Penanggung Jawab

Ketua Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Politeknik Negeri Lhokseumawe

Ketua Redaksi

Muhammad Reza, M.Eng.

Sekretaris Redaksi

Erna Yusnianti, S.Si., M.Si.

Dewan Editor:

Dr. Ir. Mochammad Afifuddin, M.Eng.	(Universitas Syiah Kuala)
Dr. Ir. Samsul Bahri, M.Si.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Dr. Ir. Yuhanis Yunus, M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Ir. Munardi, M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Muliadi, S.T., M.T.	(Universitas Negeri Malikussaleh)
Syarwan, S.T., M.T.	(Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Yulius Rief Alkhaly, S.T., M.Eng.	(Universitas Negeri Malikussaleh)

Penyunting Pelaksana

Ibrahim, S.T., M.T.

Pelaksana Tata Usaha

Hasanuddin, A.Md.

Penerbit

Politeknik Negeri Lhokseumawe

Alamat:

Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh–Medan Km 280,3 Buketrata
Lhokseumawe 24301 P.O. Box 90
Website: sipil.pnl.ac.id, email: pjj@pnl.ac.id

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi	i
Daftar Isi	ii
Pengantar Redaksi	iii
SUBSTITUSI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI AGREGAT HALUS TERHADAP CAMPURAN LASTON AC-BC (Ahmad Rizqi Muyassar, Syarwan, Edi Majuar).....	1-6
ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN SP. BANGKA JAYA-GEULUMPANG SULU TIMU KABUPATEN ACEH UTARA (Amaliaburga Gianina Gleda, Chairil Anwar, Khamistan).....	7-15
EVALUASI KINERJA OPERASIONAL RUANG PEDESTRIAN PADA LAPANGAN MERDEKA KOTA MEDAN (Aminah Jahara Nst, Zairipan Jaya, Ismail).....	16-23
ANALISIS PENGENDALIAN BIAYA DAN WAKTU (COST CONTROL FRAMEWORK) PENINGKATAN JALAN UER LAH-SIMPANG LANCANG KABUPATEN BENER MERIAH (Fajri Jayusman, Jafar Siddik, Zulfikar).....	24-30
SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BESI PADA CAMPURAN LASTON AC-WC (Iman Saputra, Rosalina, Cut Yusnar).....	31-39
PENGARUH ABU CANGKANG KERANG DARAH (ANADARA GRANOSA) SEBAGA ALTERNATIF SUBSTITUSI SEMEN PADA MORTAR TERHADAP SIFAT MEKANIS MORTAR (Kurniawan Temas Mico Arita, Amir Fauzi, Ruhana).....	40-48
KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN ADITIF (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) (Laisa Isma, Mulizar, Aiyub).....	49-57
PEMANFAATAN LIMBAH ABU BATU BARA (FLY ASH) UNTUK PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LEMPUNG (Muhammad Andryansyah Siregar, Gusrizal, Syukri).....	58-62
ANALISIS RENCANA ANGGARAN BIAYA DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PENINGKATAN JALAN PONDOK BARU SAMAR KILANG KABUPATEN BENER MERIAH (Saiful Fahmi, Bakhtiar A Wahab, Munardy).....	63-70
PENGGUNAAN AGREGAT KARAKTERISTIK DUA LOKASI BERBEDA PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-WC (Zuryati, Sulaiman Ar, Musbar).....	71-77
Pentunjuk Penulisan Artikel Ilmiah	78

JURNAL SIPIL SAINS TERAPAN

Jurnal Hasil Skripsi Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil

PENGANTAR REDAKSI

Assalamualaikum wr wb.

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Jurnal Sipil Sains Terapan Volume 04 Nomor 01 Edisi Maret 2021 dapat diterbitkan. Jurnal Sipil Sains Terapan ini merupakan jurnal hasil Skripsi dari Mahasiswa Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Jurnal Sipil Sains Terapan ini terbit secara berkala dengan frekuensi terbitan sebanyak 2 (dua) kali dalam setahun. Pada Volume 04 Nomor 01 Edisi Maret 2021 ini terdapat 10 (sepuluh) artikel. Artikel-artikel yang tergabung di dalam Jurnal Sipil Sains Terapan ini meninjau dari sisi teknik maupun manajemen dalam perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penerbitan Jurnal Sipil Sains Terapan ini. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan terhadap Jurnal Sipil Sains Terapan pada edisi-edisi yang berikutnya untuk memperkaya keilmuan terkait perencanaan jalan dan jembatan.

Redaksi

SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN SERBUK BESI PADA CAMPURAN LASTON AC-WC

Iman Saputra¹, Rosalina², Cut Yusnar⁴

¹⁾ Mahasiswa, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: iman271098@gmail.com

²⁾ Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: rosalina@pnl.ac.id

³⁾ Dosen, Program Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, email: cut_yusnar@pnl.ac.id

ABSTRAK

Limbah serbuk besi merupakan sisa potongan atau pembubutan besi tuang yang berasal dari hasil pemakaian industri. Limbah yang dihasilkan dari sisa bubut dibuang begitu saja tanpa memikirkan dampak negatif yang berpengaruh pada lingkungan sekitar. Penggunaan limbah serbuk besi bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik Marshall pada lapisan perkerasan Asphalt Concrete–Wearing Course (AC–WC). Metode penelitian mengikuti standar yang berlaku pada campuran laston AC–WC. Limbah serbuk besi yang digunakan berasal dari bengkel bubut Cunda, Kabupaten Kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh. Pematatan benda uji dilakukan dengan tumbukan 2 x 75 tiap permukaan untuk lalu lintas berat. Pada penelitian ini variasi campuran ideal diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,4%. Penggantian variasi kadar serbuk besi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%. Hasil parameter uji Marshall pada kadar aspal optimum (KAO) 6,4, persentase penggantian sejumlah agregat halus dengan variasi serbuk besi menghasilkan performa terbaik (% optimum) untuk campuran laston AC-WC adalah sebesar 15%. Pada penggantian tersebut didapat nilai Density sebesar 2,38%, nilai stabilitas sebesar 3582 kg, nilai Flow 3,3%, nilai Marshall Quotient (MQ) sebesar 1098,77 kN/mm, nilai Void in Mix (VIM) sebesar 3,67%, nilai Voids in the Mineral Agregat (VMA) sebesar 16,49%, dan nilai Voids Filled with Bitumen (VFB) sebesar 79,84%. Semua variasi kadar limbah serbuk besi memenuhi persyaratan parameter Marshall.

Kata Kunci : Limbah Serbuk Besi, Marshall, Asphalt Concrete–Wearing Course (AC–WC).

I. PENDAHULUAN

Aspal beton merupakan campuran yang homogen antara agregat, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk menerima beban lalu lintas yang tinggi. Lapisan aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam konstruksi penutup lapisan perkerasan jalan dan salah satu jenis lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur.

Limbah serbuk besi adalah sisa potongan atau sisa dari pembubutan besi tuang dari hasil pembuangan bengkel bubut atau industri. Limbah yang dihasilkan dari sisa bubut dibuang begitu saja tanpa memikirkan dampak negatif yang berpengaruh pada lingkungan sekitar. Kota Lhokseumawe terdapat beberapa tempat bengkel bubut dimana rata-rata dapat menghasilkan limbah serbuk besi. Limbah serbuk besi dimanfaatkan dengan cara menggunakannya sebagai substitusi agregat halus.

Salah satu alternatifnya yaitu dengan cara memanfaatkan limbah serbuk besi ini sebagai pengganti sejumlah agregat halus untuk membuat campuran bahan perkerasan jalan. Jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan lentur, dengan jenis campurannya Asphalt Concrete–Wearing Course (AC–WC) atau di Indonesia sering di sebut sebagai Lapisan Aspal Beton (Laston) yang di buat sebagai campuran panas (*Hot Mix*).

Karakteristik *Marshall* yang digunakan berdasarkan pada SNI 06-2489-1991 tentang Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*. Karakteristik *Marshall* meliputi nilai stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, MQ dan *density*.

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun

kecil atau fragmen- fragmen. Karakteristik agregat berpengaruh pada kekuatan struktur perkerasan jalan. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Dalam Spesifikasi Umum 2018, agregat terbagi dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Agregat kasar: agregat yang lolosayakan 25,4 mm (1")
2. Agregatsedang: agregatyamhlolosayakan 9,50 mm (3/8")
3. Agregat halus : agregatlolos ayakan No. 4 (4,75 mm).
4. Bahan pengisi (*filler*) : agregatyang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm)

Tabel 1. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 – 100
¾"	19		100	90 – 100	100	100	100	90 – 100	76 – 90
½"	12,5	100	90 – 100	50 – 88	90 – 100	90 – 100	90 – 100	75 – 90	60 – 78
⅜"	9,5	70 – 95	50 – 80	25 – 60	75 – 85	65 – 90	77 – 90	66 – 82	52 – 71
No. 4	4,75	30 – 50	20 – 35	20 – 28			53 – 69	46 – 64	35 – 54
No. 8	2,36	20 – 30	16 – 24	16 – 24	50 – 72	35 – 55	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No. 16	1,18	14 – 21					21 – 40	18 – 38	13 – 30
No. 30	0,600	12 – 18			35 – 60	15 – 35	14 – 30	12 – 28	10 – 22
No. 50	0,300	10 – 15					9 – 22	7 – 20	6 – 15
No. 100	0,150						6 – 15	5 – 13	4 – 10
No. 200	0,075	8 – 12	8 – 11	8 – 11	6 – 10	2 – 9	4 – 9	4 – 8	3 – 7

Sumber : Spesifikasi Umum Tahun 2018, Divisi 6 Perkerasan Aspal, Seksi 6.3.2

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. Besi menghasilkan limbah sisa hasil pengolahan berupa limbah serbuk besi. Menurut Daryus (2018), menyatakan serbuk besi adalah bagian dari hasil sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil pemakaian di industri.

Tabel 2. Kandungan Kimia Serbukbesi

Kandungan Kimia	Persentasi (%)
Silikon (Si)	1-3
Carbon (C)	2-4
Mangan (Mn)	0,8
Fospor (P)	0,1
Sulfur (S)	0,05
Besi (Fe)	Sisa

II. METODOLOGI

A. Pengujian Analisa Ayakan Agregat Kasar dan Halus

Metode pengujian analisa ayakan dilakukan sesuai SNI 03-1968-1990. Untuk campuran lataston HRS-WC, gradasi agregat yang digunakan adalah *Gap Graded*.

B. Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian sifat fisis pada agregat tambahan meliputi berat jenis dan penyerapan serta analisa ayakan. Pengujian berat jenis dan penyerapan dilakukan sesuai dengan SNI 1969-2016 dan SNI 1970-2016, dan pengujian keausan agregat dilakukan sesuai dengan SNI 2417:2008.

C. *Pengujian Sifat Fisis Aspal*

Pengujian sifat fisis aspal yang dilakukan meliputi berat jenis aspal, penetrasi aspal, dan titik lembek. Pengujian berat jenis aspal dilakukan sesuai SNI-06-2441-1991, penetrasi aspal sesuai SNI-06-2456-1991, dan titik lembek sesuai dengan SNI-06-2434-1991.

D. *Prosedur Pengujian*

Pengujian dilakukan dengan dua tahapan yaitu pembuatan benda uji normal menggunakan *filler* semen dan pembuatan benda uji menggunakan variasi kadar limbah serbuk besi sebagai *filler*.

Tahapan pertama yaitu pembuatan benda uji dengan menggunakan *filler* semen dengan nilai *Pb* diperoleh 4,9%, 5,4%, 5,9%, 6,4%, dan 6,9%, tiap *Pb* dibuat sebanyak 3 benda uji.

Tahapan kedua dilakukan pembuatan benda uji pada KAO 4,6% dengan menggunakan variasi kadar limbah serbuk besi sebagai pengganti sejumlah agregat halus. Besarnya variasi persentase kadar limbah serbuk besi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%, dengan 3 benda uji tiap persentase.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Pengujian Sifat Fisis Agregat*

Pengujian sifat fisis agregat yang dilakukan meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar, kelekatan agregat terhadap aspal, serta keausan. Berikut ini hasil pemeriksaan sifat fisis agregat yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

N0	sifat fisis Agregat	Syarat Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis Agregat a. Split b. Screen c. Dust stone d. Pasir	$\geq 2,50$ $\geq 2,50$ $\geq 2,50$ $\geq 2,50$	2,62 2,52 2,74 2,76
2	Penyerapan Agregat a. Split b. Screen c. Dust stone d. Pasir	< 3% Berat < 3% Berat < 3% Berat < 3% Berat	2,43 2,74 1,87 1,6
3	Keausan Agregat	< 40 %	23,2

Tabel 2 memperlihatkan bahwa untuk hasil pengujian berat jenis, penyerapan agregat, dan keausan agregat memenuhi semua syarat spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga agregat dapat digunakan sebagai material dalam campuran pembuatan benda uji.

B. *Pengujian Sifat Fisis Aspal*

Pengujian sifat fisis aspal yang dilakukan meliputi berat jenis aspal, penetrasi dan titik lembek. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal secara keseluruhan diperlihatkan pada Tabel 4.

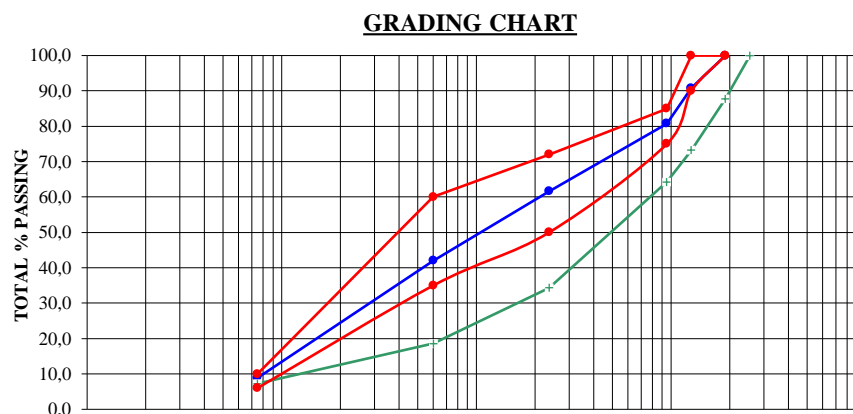
Tabel 4. Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

No	Sifat-Sifat Fisis Aspal	Syarat Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis Aspal 25° C	> 1,00	1,070 gr/cm ³
2	Penetrasi 25° C	60-70	64,1 mm
3	Titik Lembek	> 48°	52° C

Tabel 3 memperlihatkan bahwa untuk hasil pemeriksaan sifat fisis aspal diatas, aspal yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70 dan dikaitkan dengan literatur, maka aspal yang digunakan memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran *Hot Rolled Sheet wearing-course* (HRS-WC).

C. Hasil Pemeriksaan Komposisi Mix Design

Hasil pemeriksaan gradasi dan penentuan proporsi campuran agregat di perlihatkan pada Gambar1.



Pb tengah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

$$P_b = 0,035 \times (35,4\%) + 0,045 \times (38,0\%) + 0,18 \times (7,3\%) + 1$$

$$P_b = 5,9\%, \text{ Dibulatkan menjadi } 5,9\%$$

Maka didapat aspal ideal yaitu (Pb 4,9%), (Pb 5,4%), (Pb 5,9%), (Pb 6,4%), dan (Pb 6,9%).

Gambar 1. Grafik Proporsi Campuran Agregat

D. Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan pada variasi kadar aspal ideal untuk benda uji awal dengan jumlah tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter *Marshall* seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Parameter *Marshall* pada Varian Kadar Aspal

Parameter Marshall	Variasi Kadar Aspal Ideal					Spesifikasi
	4,9 %	5,4 %	5,9 %	6,4 %	6,9 %	
Stabilitas (kg)	2729	3022	3516	3492	3168	> 800
Flow (mm)	2	2,4	2,9	3,3	3,4	2 - 4 %
Density (gr/cm ³)	2,31	2,33	2,33	2,33	2,33	> 2 cm ²
VIM (%)	7,15	5,75	4,87	4,28	3,77	3 - 5 %
VFB (%)	77,49	79,08	79,66	79,68	79,54	≥ 65%
VMA (%)	15,36	15,17	15,47	16,04	16,69	≥ 15%
MQ (kN/mm)	1379,8	1291,1	1199,0	1071,1	929,06	≥ 250 kg/mm

E. *Kadar Aspal Optimum (KAO)*

Berdasarkan parameter *marshall* pada Tabel 6 didapatkan kadar aspal optimum dengan sistem *Range Overlapping*. Hasil pengujian *marshall* menunjukkan bahwa campuran AC-WC dengan variasi kadar aspal, didapatkan kadar aspal optimum sebesar 6,4%.

F. *Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Kadar Aspal Optimum dengan Variasi Limbah Karbit*

Dari hasil pengujian *marshall* yang dilakukan dengan variasi kadar limbah serbuk besi sebagai *filler* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter *marshall* seperti diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Parameter *Marshall* Dengan Variasi Kadar Limbah Serbuk Besi

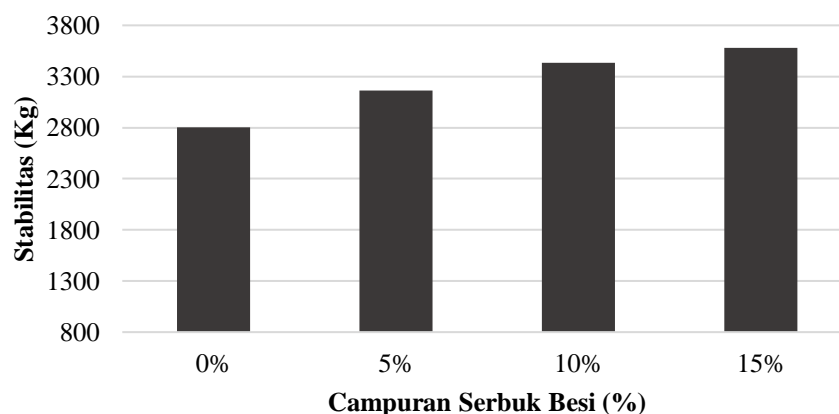
Kadar Variasi limbah karbit (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kN/mm)	Density (gr/cm ³)
0%	2805	2	17,09	4,45	78,47	1419,26	2,35
5%	3163	2,4	16,79	4,07	79,14	1351,14	2,36
10%	3436	2,9	16,59	3,81	79,60	1172,99	2,37
15%	3582	3,3	16,49	3,67	79,84	1098,77	2,28

Tabel 6 memperlihatkan bahwa nilai *stabilitas* memenuhi spesifikasi, nilai *flow* spesifikasi. Nilai *VMA* memenuhi spesifikasi, nilai *VIM* memenuhi spesifikasi *VFB* memenuhi spesifikasi, dan Nilai *MQ* dan *density* memenuhi spesifikasi. Hubungan nilai parameter *marshall* dan variasi kadar limbah serbuk besi dapat dilihat pada Gambar 2 s.d Gambar 9.

G. *Parameter Marshall pada Variasi Limbah Karbit*

1. Nilai Stabilitas

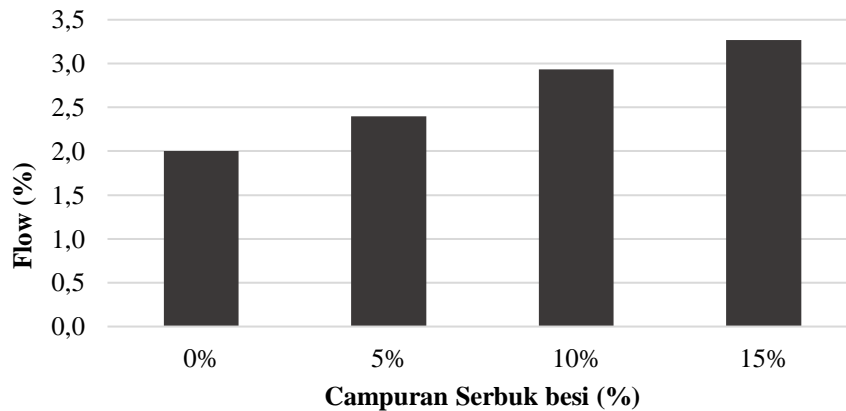
Berdasarkan Gambar 2, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk besi yang terkandung, maka nilai stabilitasnya semakin meningkat. Nilai stabilitas yang tinggi membuat campuran aspal beton mampu menahan deformasi akibat beban. Pada campuran variasi serbuk besi 15% di peroleh nilai Stabilitas tertinggi yaitu 3582 kg. Dari hasil penelitian seluruh variasi kadar serbuk besi nilai stabilitas memenuhi batas persyaratan untuk lalulintas berat yaitu > 800 kg/cm Dan memenuhi ketentuan yang sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 2. Hubungan *Stabilitas* dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

2. Kelelehan (Flow)

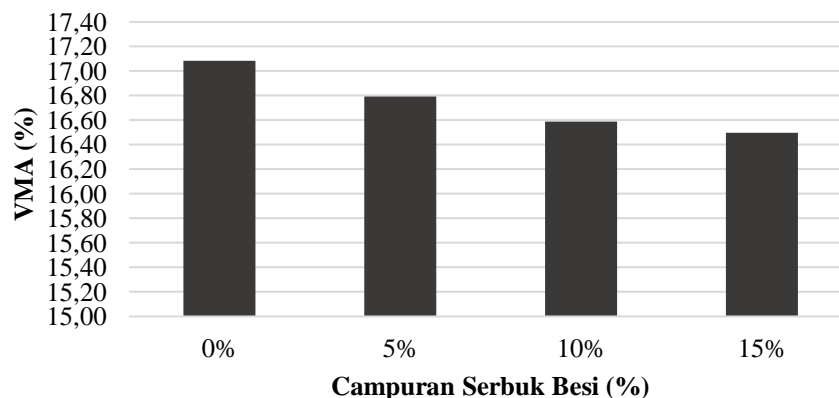
Berdasarkan Gambar 3, hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh nilai Flow memenuhi batas dan syarat yang telah ditentukan yaitu ≥ 3 mm. Nilai Flow yang meningkat menandakan campuran tersebut memiliki rongga terisi aspal yang baik. Nilai Flow yang meningkat membuat campuran aspal beton menjadi stabil akibat peningkatan elastisitas dengan pembebanan sampai batas keruntuhan. Nilai Flow yang rendah umumnya menunjukkan bahwa campuran bersifat tidak plastis.



Gambar 3. Hubungan Flow dengan variasi kadar limbah serbuk besi

3. Nilai VMA (*Voids in the Mineral Agregate*)

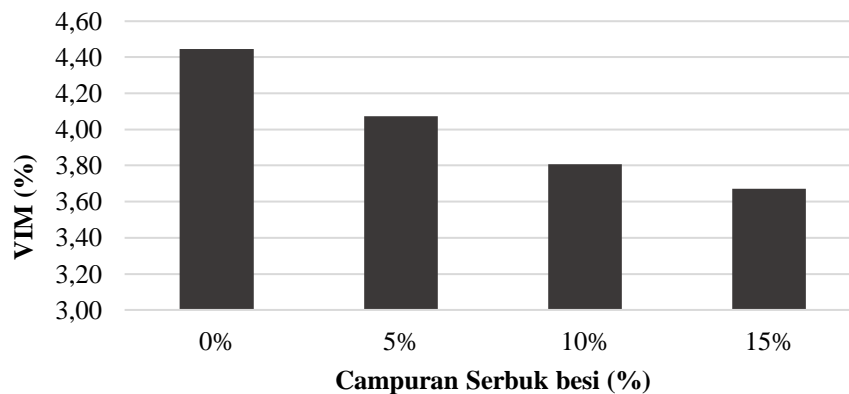
Berdasarkan Gambar 4, hasil penelitian menunjukkan campuran menggantikan serbuk besi menunjukkan persentase rongga terhadap agregat lebih rendah yang membuat rongga antar rongga antar agregat semakin kecil. Dengan demikian memenuhi ketentuan dan persyaratan yang telah ditentukan yaitu $> 15\%$.



Gambar 4. Hubungan VMA dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

4. Nilai VIM (*Voids in Mineral*)

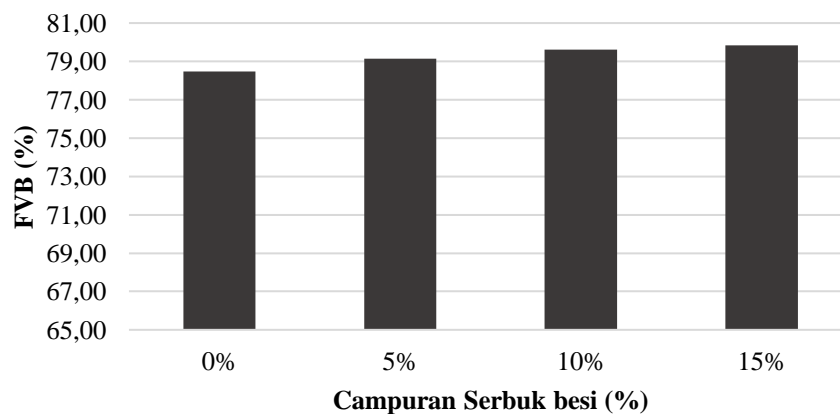
Berdasarkan Gambar 5, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rongga dalam campuran (VIM) menurun seiring peningkatan kadar serbuk besi dalam campuran. Semakin tinggi campuran variasi kadar serbuk besi maka semakin rendah nilai VIM. Nilai VIM yg kecil membuat rongga yang tersisa dalam campuran semakin sedikit sehingga membuat campuran menjadi kaku akibatnya campuran mudah retak. Nilai VIM pada penelitian ini semua memenuhi spesifikasi.



Gambar 5. Hubungan VIM dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

5. Nilai VFB (*Voids Filled with Bitumen*)

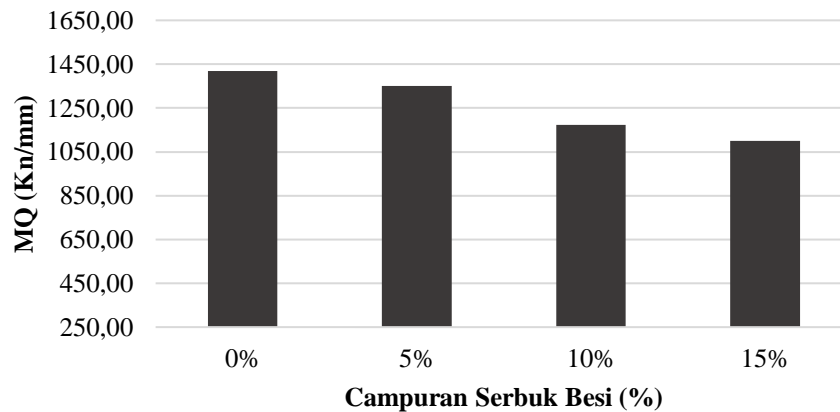
Berdasarkan Gambar 6, hasil penelitian menunjukkan nilai tertinggi VFB pada kadar aspal optimum 6,4% dengan Penggantian serbuk besi variasi 15% yaitu 79,84%. Nilai VFB meningkat karena untuk menghitung VFB menggunakan berat jenis agregat. Dan berat jenis agregat meningkat karena gabungan berat jenis serbuk besi. Nilai VFB memenuhi ketentuan dan persyaratan yang telah ditentukan yaitu pada minimal 65%.



Gambar 6. Hubungan VFB dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

6. Nilai MQ (*Marshall Quotient*)

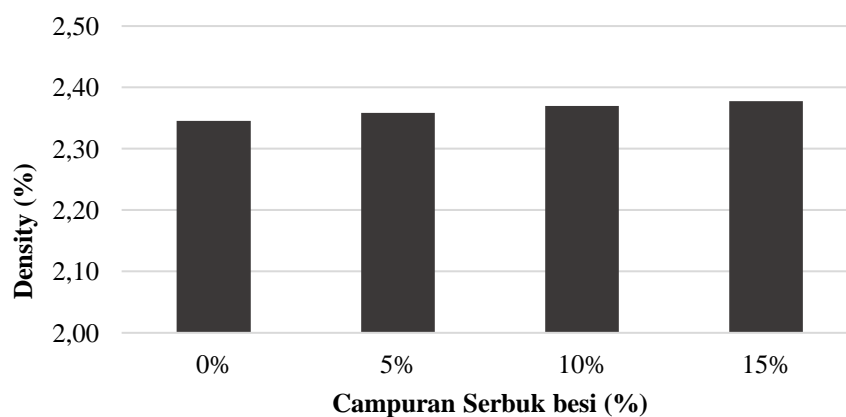
Berdasarkan Gambar 7, hasil penelitian menunjukkan, Nilai MQ yang tinggi menunjukkan campuran memiliki fleksibilitas yang rendah maka mengakibatkan campuran tidak mudah terjadi deformasi apabila menerima beban lalu lintas. Dari hasil pengujian ini nilai Marshall Quotient memenuhi batas persyaratan yaitu $\geq 250\text{kg/mm}$.



Gambar 7. Hubungan MQ dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

7. Nilai Kepadatan (*Density*)

Berdasarkan Gambar 7, hasil penelitian menunjukkan Dari nilai persen variasi penggantian serbuk besi yang sedikit menyebabkan nilai density yang meningkat sangat kecil. Jika nilai stabilitas tinggi maka nilai density juga naik, ini menyebabkan campuran tersusun rapat dan padat dengan aspal sehingga membuat campuran saling mengunci yang membuat daya ikat yang baik



Gambar 7. Hubungan *Density* dengan Variasi Kadar Limbah serbuk besi

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* secara umum untuk % variasi kadar limbah serbuk besidapat disimpulkan bahwa penambahan variasi kadar limbah serbuk besi memenuhi spesifikasi dengan nilai parameter *marshall* menghasilkan performa terbaik (% optimum) untuk campuran laston AC-WC adalah sebesar 15%. Pada penggantian tersebut didapat nilai Density sebesar 2,38%, nilai stabilitas sebesar 3582 kg, nilai Flow 3,3%, nilai MQ sebesar 1098,77 kN/mm, nilai VIM sebesar 3,67%, nilai VMA sebesar 16,49%, dan nilai VFB sebesar 79,84%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahri, Samsul., 2010, "Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sejumlah Agregat Halus Terhadap Campuran Aspal" *Jurnal Teknik Sipil Inersia*. 1 (2), Hal : 25 - 32
- Bukhari, dkk. 2007. *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*. Fakultas Teknik Banda Aceh : Universitas Syiah Kuala.
- Daryus. A. 20 Juni 2018. *Diktat Kuliah Proses Produksi*. <http://ft.unsada.ac.id>

- Dewanti, Melinda. 2016. Penggunaan Crumb Rubber Untuk Perkerasan Jalan Dengan Uji Marshall Dan Wheel Tracking Menggunakan Sistem Warm Mix Pada Campuran AC-WC, Skripsi. Jakarta: Universitas Mercu Buana.
- Direktorat Jenderal Bina marga. 2005. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*. Bandung : Pusat Litbang prasarana Transportasi Badan Penelitian dan pengembangan.
- Direktorat Jenderal Bina marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta : kementrian Pekerjaan umum dan Perumahan rakyat.'
- Hendarsin. Shirley I. 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Jurusan teknik Sipil. Bandung : Politeknik Negeri Bandung.
- Junianda, Siti Fathma. 2019, Subtitusi Limbah Serbuk Besi Terhadap Ketahanan Suhu Pada Agregat Halus Campuran Laston AC-BC , Tugas Akhir. Lhokseumawe: Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Pasaribu, Iffah Fathaniah. 2015, Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Terhadap Campuran Aspal Panas Jenis AC-WC , Tugas Akhir. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara.
- Saodang. Hamirhan. 2005. *Konstruksi Jalan raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. 2010. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Granit.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Yayasan Obor Jakarta.