Jurnal Teknik
Vol. 01 No.01 Oktober 2021
Page : 01-10

S I L I T E K
ISSN 2808-5825 (Online)

STUDY EKSPERIMENTAL SLAG NIKEL PADA CAMPURAN ASPAL BETON (STUDY KASUS SLAG NIKEL DI PT. HUADY NICKEL-ALLOY INDONESIA)

Abdi Kurniawan[1], Muhammad Nashir[2], Kasmaida[3]
[1] kandae27@gmail.com

ABSTRAK

Slag nikel yang digunakan berasal dari limbah industri peleburan PT. Huady Nickel-Alloy Indonesia. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh semakin berkurangnya ketersediaan agregat alam serta meningkatnya volume limbah slag nikel sebagai produk samping industri nikel nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan slag nikel sebagai substitusi agregat pada campuran aspal beton, khususnya pada lapis aus AC-WC. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Marshall, untuk menilai karakteristik stabilitas, kelelehan (flow), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), dan Marshall Quotient (MQ). Sampel uji dibuat dengan variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5% dan penggunaan slag nikel sebagai agregat kasar 0,5–1 cm sebanyak 100%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan slag nikel memenuhi spesifikasi teknis berdasarkan SNI 03-1737-1989 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, khususnya dalam hal nilai stabilitas dan flow. Berdasarkan hasil laboratorium, slag nikel dengan proses pendinginan udara menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan slag nikel dengan pendinginan mendadak, ditinjau dari nilai abrasi, angularitas, dan kepadatan. Dengan demikian, slag nikel layak digunakan sebagai alternatif agregat dalam konstruksi jalan, mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan infrastruktur ramah lingkungan.

Kata Kunci : Slag Nikel, Aspal AC-WC, Marshall

@2021 Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan merupakan bagian penting dalam sistem jaringan jalan untuk mendukung peningkatan pembangunan di Indonesia [1]. Pemerintah dalam hal ini menjadikan pembangunan, pemeliharaan dan peningkatan infrastruktur jalan menjadi salah satu program prioritas ditambah dengan peningkatan pertumbuhan lalu lintas baik dari segi jumlah kendaraan dan muatan yang diangkut, baik dari segi jumlah kendaraan dan muatan yang diangkut. [2]. Kegiatan pembangunan dan pemeliharan jalan di Indonesia diperlukan aspal sekitar 1,3 juta ton pertahunnya, apabila campuran beraspal mempunyai kadar aspal sebesar 6% terhadap berat campuran, maka 1,3 juta ton aspal tersebut itu akan menghasilkan sebanyak 21,6 juta ton campuran beraspal panas/*hot mix asphalt* (HMA), berdasarkan data tersebut dengan persentase agregat dalam campuran sekitar 90-95% maka dibutuhkan 20,3 juta agregat sehingga menyebabkan penggunaan material alam sebagai bahan baku semakin berkurang secara bertahap Penggunaan dan pembaharuan limbah dari produk sampingan kegiatan industri merupakan isu penting dalam beberapa tahun ini untuk mengurangi penggunaan bahan baku infrastruktur jalan, salah satunya adalah penggunaan slag nikel sebagai material infrastruktur jalan menggantikan agregat alam [3]. Penggunaan dan pembaharuan limbah

dari produk sampingan kegiatan industri merupakan isu penting dalam beberapa tahun ini untuk mengurangi penggunaan bahan baku infrastruktur jalan, salah satunya adalah penggunaan slag nikel sebagai material infrastruktur jalan menggantikan agregat alam [4]. Indonesia memiliki cadangan nikel nomor 1 di dunia yang mencapai 72 juta ton atau 52% dari total cadangan dunia [5]. Produksi biji nikel Indonesia pada tahun 2019 sebesar 800 ribu ton atau sekitar 30% dari produksi total di dunia, pemerintah terus mendorong untuk program hilirisasi industri dengan mengurangi ekspor bahan mentah atau raw material dan pemrosesan bijih nikel didalam negeri [6]. Besarnya peningkatan produksi ini sejalan dengan limbah limbah sampingan produksi terak (slag) yang dihasilkan dari pengolahan nikel [7]. Industri peleburan dan pemurnian domestik menghasilkan sekitar 21,8 juta slag per tahun dimana baja dan nikel menjadi industri yang menghasilkan slag terbesar, dimana pada kurun waktu tahun 2019 sampai dengan 2024 diperkirakan dapat menghasilkan limbah slag sekitar 14.173.000 ton. [8]. Namun berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014, terak nikel masuk dalam kategori sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (LB3) [9]. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik serta potensi dari terak nikel, khususnya yang berasal dari bijih nikel lateritik Indonesia, untuk penerapannya sebagai agregat pada aspal beton [10]. Adapun slag nikel yang digunakan pada penelitian ini berasal dari perusahaan PT Huadi Nickel-Alloy Indonesia yang saat ini memulai investasinya di bidang industri pengolahan dan pemurnian mineral nikel[11]. Hingga saat ini, jumlah karyawan yang bekerja di Huadi Nickel-Alloy Indonesia sebanyak lebih kurang 2000 orang [12]. Sebagian besar dari karyawan adalah putra-putri asli Bantaeng dan sejauh ini PT Huadi Nickel Alloy telah memproduksi lebih dari dua juta ton limbah slag nikel [13]. Teknologi *recycling* ini juga diharapkan akan mengurangi pemakaian material baru, perlindungan sumber daya alam, penghematan sumber daya, dan penghematan proses industry dimana hal tersebut merupakan hal yang sangat penting untuk dipertimbangakan [14].

Tujuan Penelitian

Terkait dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, yaitu:

1) Untuk mengetahui karakteristik penggunaan slag nikel pada campuran aspal AC-WC.
2) Untuk mengetahui parameter campuran aspal AC-WC terhadap penggunaan slag nikel.
3) Untuk mengetahui Stabilitas Marshall pada campuran beton terhadap penggunaan slag nikel.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eskperimental Labolatorium, yaitu metode yang dilakukan dengan pengujian di Laboratorium untuk mendapatkan data. Kemudian melakukan pengolahan data untuk mengetahui pengaruh dari bahan slag nikel terhadap lapisan aspal AC-WC terhadap nilai marshall.

Prosedur Penelitian

Tahapan persiapan merupakan rangkaian kegiatan awal sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahan persiapan ini disususn hal-hal yang harus dilakukan agar tujuan penulisan tugas akhir ini menjadi teratur dan terstruktur, sehingga waktu penulisan tugas akhir ini berjalan efektif dan efisian. Penentuan kadar aspal optimum campuran slag nikel sebagai bahan tambah campuran aspal AC-WC.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eskperimental terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang di uji di labolatorium. Jenis data pada penelitian ini dikelompokan menjadi 2 yaitu data primer dan sekunder.

1) Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan

percobaan yang dilakukan sendiri dengan mengacu pada petunjuk manual yang ada, misalnya dengan mengadakann penelitian atau pengujian secara langsung seperti pengujian propertis aspal dan pengujian agregat.

2) Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung, untuk pengujian aspal dan slag nikel diperoleh dari studi literatur dan dilingkungan sekitar.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare.

1) Pengujian Propertis Aspal

Pengujian Aspal penetrasi 60/70 adalah Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat aspal meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, berat jenis dan kelarutan dengan standar Bina Marga. Pengujian Titik Nyala Aspal dan Titik Bakar Aspal (SNI 2433:2011).

2) Pengujian Agregat

Pengujian Analisa Saringan Pengujian ini bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat halus dan kasar, yang sangat penting untuk memastikan gradasi yang optimal demi kepadatan, kekuatan, dan kemudahan pengerjaan campuran beton atau aspal.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat jenis dan peneyerapan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian berat jenis agregat kasar dan halus.

1) Berat jenis agregat kasar 1-2

Tabel 1. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2
(Sumber: hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No,	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,400			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,460	-	-	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,552			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,509	Maks 3	%	Memenuhi

2) Berat jenis agregat kasar 0,5-1

Tabel 2. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar 0,5-1
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No,	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,378			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,427	-	-	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,501			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,068	Maks 3	%	Memenuhi

3) Berat Jenis Agregat Halus (Abu batu)

Tabel 3. Berat Jenis Penyerapan Agregat Halus (Abu batu)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No,	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,446			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,521	-	-	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,642			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	3,054	Maks 3	%	Memenuhi

Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Pengujian abrasi merupakan pengujian terhadap daya tahan agregat terhadap kikisan dihubungkan langsung dengan kekuatan hancur dan secara umum cukup aman untuk menganggap agregat dengan kuat hancur yang besar juga mempunyai daya tahan terhadap kikisan besar

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar (abrasi) 500 putaran
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Saringan		Berat		Spesifikasi
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500		
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500		
Jumlah Berat (gram)		5000		
Berat Tertahan Saringan No. 12 (gram)	Berat Tertahan	5000	3,847	
Persen Keausan		23,1 %		Maks. 30%

Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat

Pemeriksaan analisa saringan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian analisa saringan agregat kasar dan halus

1) Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 5. Hasil analisa saringan agregat kasar normal 1-2
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No. Saringan	Berat Tertahan	(%) Tertahan	RATA-RATA Komulatif Tertahan	(%) Lolos
1"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
1/2"	641.90	42.8%	641.90	57.21%
3/8"	335.90	22.4%	977.80	34.81%
4	218.00	14.5%	1195.80	20.28%
8	289.10	19.3%	1484.90	1.01%
16	12.50	0.8%	1497.40	0.17%
30	0.00	0.0%	1497.40	0.17%

50	0.25	0.0%	1497.65	0.16%
100	0.20	0.0%	1497.85	0.14%
200	1.40	0.1%	1499.25	0.05%
Pan	0.75	0.1%	1500.00	0.00%
Jumlah	1500	100.0%		

2) Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

Tabel 6. Hasil analisa saringan agregat kasar nikel 0,5-1
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No. Saringan	RATA-RATA			
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos
1"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
1/2"	89.50	6.0%	89.50	94.03%
3/8"	345.00	23.0%	434.50	71.03%
4	784.00	52.3%	1218.50	18.77%
8	278.00	18.5%	1496.50	0.23%
16	3.50	0.2%	1500.00	0.00%
30	0.00	0.0%	1500.00	0.00%
50	0.00	0.0%	1500.00	0.00%
100	0.00	0.0%	1500.00	0.00%
200	0.00	0.0%	1500.00	0.00%
Pan	0.00	0.0%	1500.00	0.00%
Jumlah	1500	100.0%		

3) Analisa saringan agregat halus (abu batu)

Tabel 7. Hasil analisa saringan agregat halus (abu batu)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

No. Saringan	RATA-RATA			
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos
1"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
1/2"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
3/8"	0.00	0.0%	0.00	100.00%
4	140.05	9.3%	140.05	90.66%
8	232.25	15.5%	372.30	75.18%
16	339.45	22.6%	711.75	52.55%
30	299.15	19.9%	1010.90	32.61%
50	148.70	9.9%	1159.60	22.69%
100	125.50	8.4%	1285.10	14.33%
200	134.30	9.0%	1419.40	5.37%
Pan	80.60	5.4%	1500.00	0.00%
Jumlah	1500	100.0%		

Hasil Pemeriksaan Aspal

Tabel 8. Hasil pengujian aspal

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

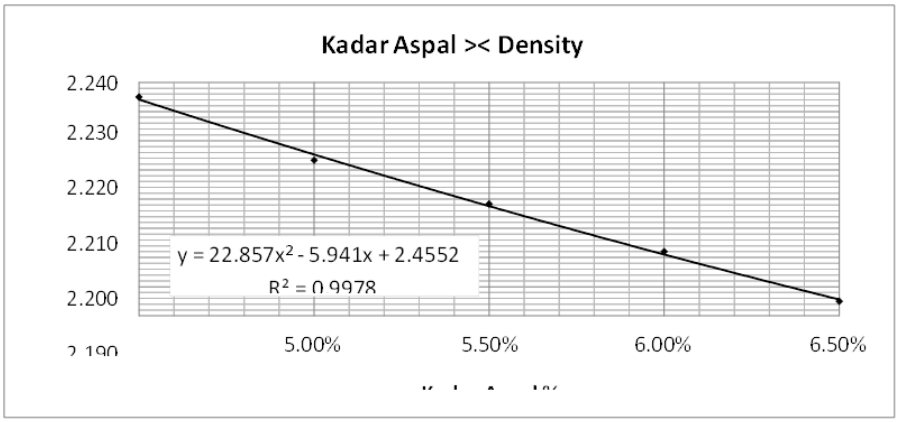
No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis aspal	1.025	≥ 1,0	gr/cc	Memenuhi
2	Tititk lembek aspal	56,70	≥ 48	℃	Memenuhi
3	Penetrasi pada 25℃	68,80	60-70	0,1 mm	Memenuhi
4	Kehilangan berat aspal	0.56	≤ 0,8	%	Memenuhi

Hasil pengujian marshall

1) Kepadatan

Tabel 9. Kepadatan
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Density
4.50%	2.235
5.00%	2.213
5.50%	2.198
6.00%	2.182
6.50%	2.165



Gambar 1. Grafik kepadatan kadar aspal
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

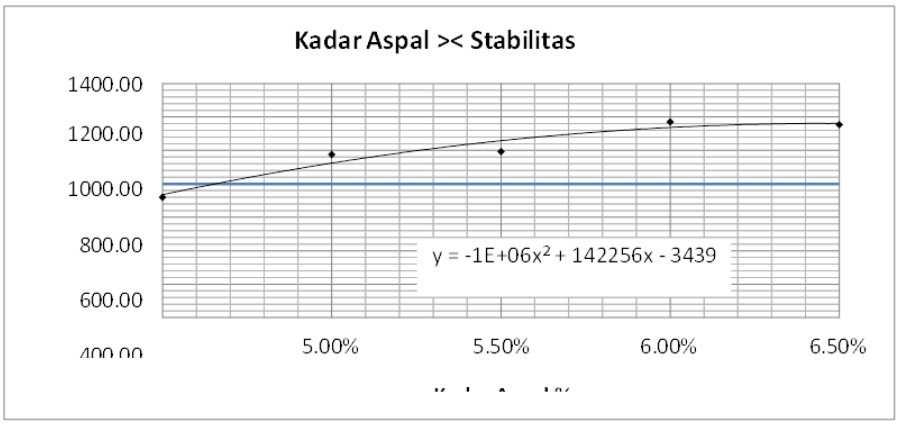
2) Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat *marshall*. Selanjutnya dicocokan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji.

Tabel 10. Hasil pengujian stabilitas
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	

4.50%	720.57	800		Tidak memenuhi
5.00%	975.84	800		Memenuhi
5.50%	994.49	800	-	Memenuhi
6.00%	1171.28	800		Memenuhi
6.50%	1155.03	800		Memenuhi



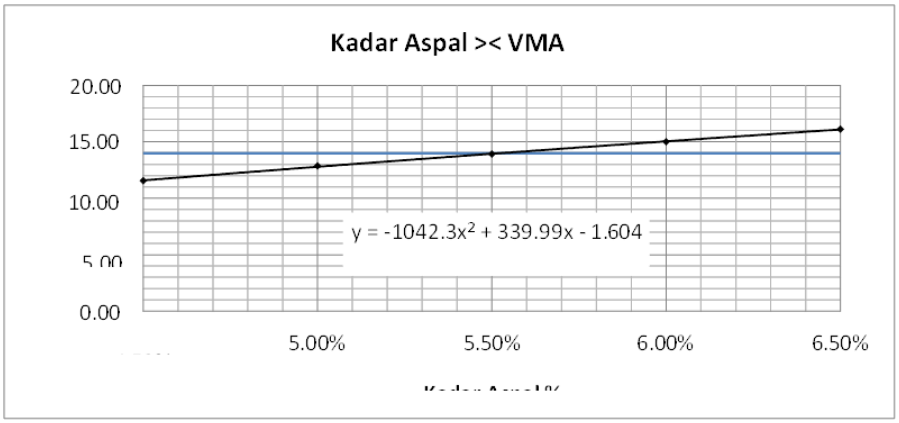
Gambar 2. Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

3) Rongga diantara agregat (VMA)

Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar ini.

Tabel 11. Hasil pengujian VMA
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Nilai VMA (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4.50%	11.55	14		Tidak memenuhi
5.00%	12.87	14		Tidak memenuhi
5.50%	13.91	14	-	Tidak memenuhi
6.00%	15.00	14		Memenuhi
6.50%	16.12	14		Memenuhi



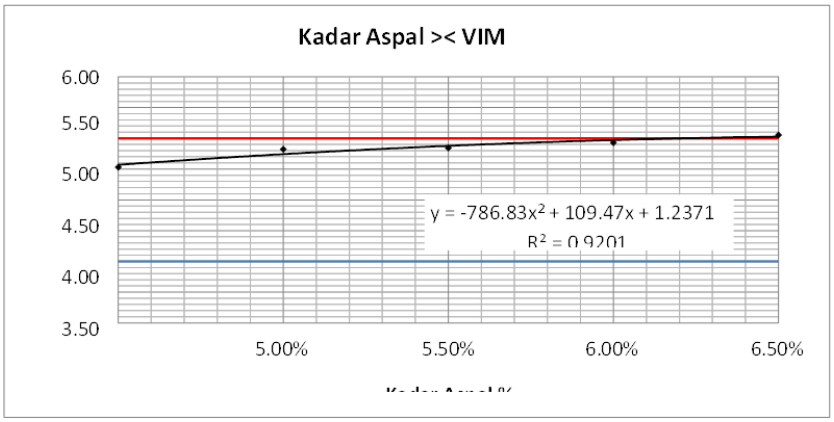
Gambar 3. Grafik hubungan kadar aspal dan VMA
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

4) Rongga terhadap campuran (VIM)

Nilai VIM yang terlampau rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleading pada lapis keras. Selain bleading, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak dan pecah (cracking) apabila menerima beban lalulintas karena tidak cukup lentur untuk menerima deformasi yang terjadi. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 12. Hasil pengujian VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Nilai VIM (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4.50%	4.53	3	5	Memenuhi
5.00%	4.83	3	5	Memenuhi
5.50%	4.85	3	5	Memenuhi
6.00%	4.93	3	5	Memenuhi
6.50%	5.05	3	5	Tidak Memenuhi



Gambar 4. Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

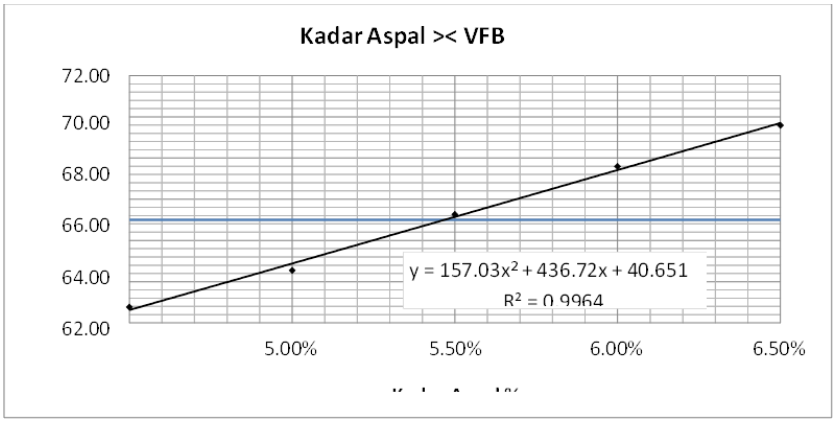
5) Rongga terisi aspal (VFB)

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosestase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 13. Hasil pengujian VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Nilai VFB (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4.50%	60.77	65	-	Tidak memenuhi
5.00%	62.55	65		Tidak memenuhi
5.50%	65.26	65		Memenuhi

6.00%	67.59	65	Memenuhi
6.50%	69.59	65	Memenuhi



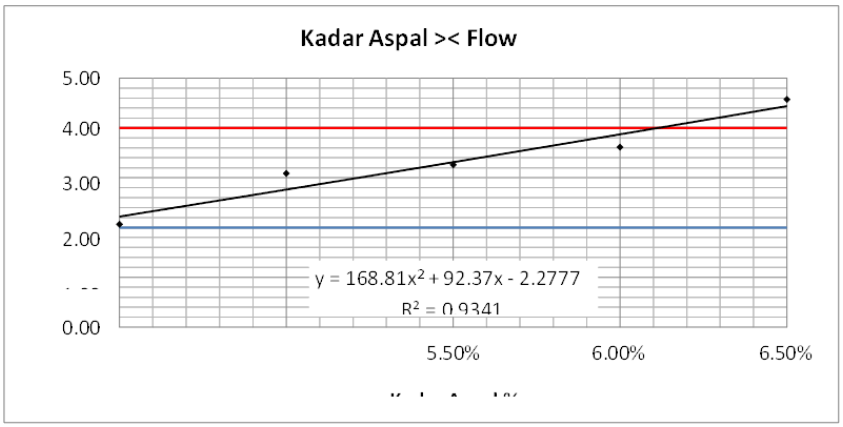
Gambar 5. Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

6) Flow

Hubungan antara flow dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 14. Hasil pengujian flow
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Kadar Aspal	Nilai Flow (mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4.50%	2.07	2	4	Memenuhi
5.00%	3.09	2	4	Memenuhi
5.50%	3.26	2	4	Memenuhi
6.00%	3.61	2	4	Memenuhi
6.50%	4.58	2	4	Tidak Memenuhi



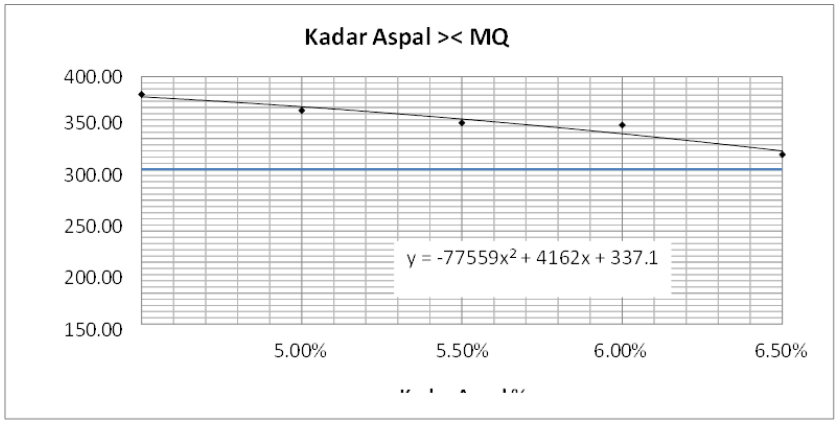
Gambar 6. Grafik hubungan kadar aspal dan flow
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

7) Marshall quotient (MQ)

Hubungan antara MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 15. Hasil pengujian marshall quotient (MQ)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

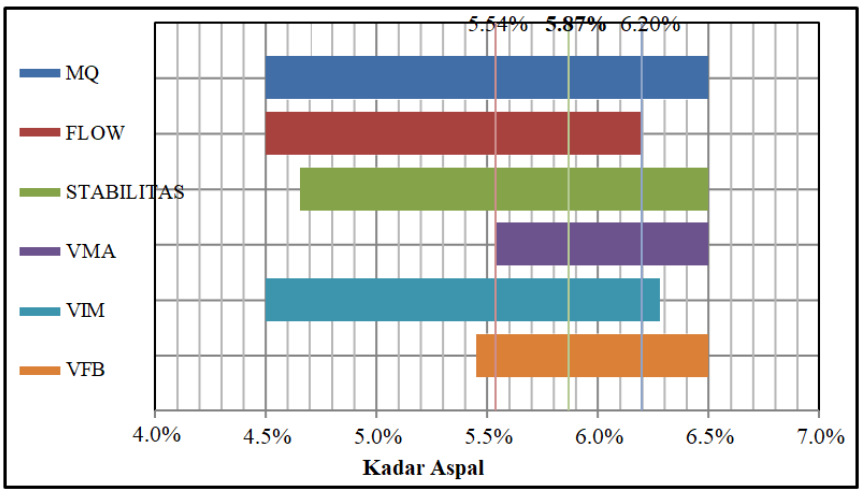
Kadar Aspal	Nilai MQ (Kg/mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4.50%	371.40	250	-	Memenuhi
5.00%	345.15	250		Memenuhi
5.50%	325.46	250		Memenuhi
6.00%	321.68	250		Memenuhi
6.50%	273.90	250		Memenuhi



Gambar 7. Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

8) Penentuan kadar aspal optimum (KAO)

Dalam penentuan kadar aspal optimum untuk menetepkan berapa besarnya kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama namun dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan. Berikut nilai kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian marshall terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Diagram penentu kadar aspal optimum

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

Berdasarkan gambar diagram menujukan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFB, Flow, dan Marshall Quotient yang memenuhi spesifikasi untuk semua karakteristik dalam campuran 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5%. Sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5,87%.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian slag nikel sebagai subtitusi agregat kasar pada campuran AC-WC yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiya Parepare, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1) Penggunaan slag nikel pada campuran aspal AC-WC menunjukkan performa Marshall yang lebih baik dibanding agregat tradisional. Stabilitas maksimum tercapai pada 1171,28 kg dengan kadar aspal 6,0%. Nilai VMA berkisar 14–16,12%, lebih optimal dari agregat biasa (12–14%). VIM campuran slag nikel berada pada 3–5%, lebih stabil dibanding konvensional. Marshall Quotient-nya 273,9–371,4 mm/kg, lebih rendah namun konsisten, menandakan kekakuan yang baik dan kestabilan campuran yang unggul.
2) Pengujian campuran aspal AC-WC menunjukkan bahwa slag nikel memenuhi spesifikasi Marshall, termasuk VMA, VIM, dan VFB, pada kadar aspal 4,5%–6,5%. Kadar aspal optimum tercapai pada 5,87%, menghasilkan stabilitas dan fleksibilitas terbaik. VMA berada pada 14%–16,12%, VIM 3%–5%, dan VFB 65,26%–69,59%, seluruhnya sesuai batas standar. Hal ini membuktikan slag nikel dapat digunakan dalam campuran aspal tanpa mengurangi kualitas structural.
3) Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% memenuhi spesifikasi stabilitas minimum 800 kg, sedangkan kadar 4,5% tidak memenuhi. Nilai stabilitas tertinggi tercapai pada 1171,28 kg di kadar 6,0%. Slag nikel terbukti meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi. Nilai flow berada antara 2–4 mm dan Marshall Quotient di atas 250 mm/kg. Rentang kadar aspal 5%–6,5% menunjukkan fleksibilitas desain campuran, dengan kemampuan menyerap dan menyebarkan beban secara konsisten, penting bagi ketahanan jangka panjang perkerasan jalan.

Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai atau tentang hal penggunaan limbah keramik sebagai subtitusi agregat kasar dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1) Diharapkan melakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC menggunakan material dengan komposisi campuran yang berbeda.
2) Untuk kontraktor atau instansi terkait sebaiknya agar mempertimbangkan penggunaan agregat kasar dengan substitusi penggunaan slag nikel pada campuran AC-WC dalam konstruksi perkerasan jalan dengan alasan efisiensi waktu pada proses pengolahan slag nikel menjadi butiran agregat kasar.
3) Perlunya fasilitas laboratorium yang memadai terutama pada alat yang digunakan pada saat melakukan penelitian sehingga data yang diperoleh dalam penelitiaan lebih akurat.

Daftar Rujukan

[1] H. Ashad and A. B. Gunawan, "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Agregat Kasar Beton Mutu Tinggi," vol. 29, no. 3, pp. 257–262, 2022, doi: 10.5614/jts.2022.29.3.7.

[2] A. N. Majalis, N. V. Permatasari, Y. Novitasari, and N. Wicaksono, "Kajian Awal Produksi Fero Sulfat dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Kajian Awal Produksi Fero Sulfat dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Menggunakan Asam Sulfat," no. April 2020, pp. 30–38, 2023, doi: 10.14710/jil.18.1.31-38.

[3] Y. Ressa, A. T. Mangesa, K. Pratama, and A. Redanto, "Studi Kasus Pengelolaan Limbah B3 (Slag Nikel) Pada Industri Pertambangan Nikel di Indonesia," vol. 3, no. Senastitan Iv, pp. 3–8, 2024.

[4] Y. Aprianto, "PEMANFAATAN LIMBAH PADAT SLAG NIKEL , ABU SEKAM Yusril Aprianto , Rita

Dewi Triastianti UTILIZATION OF SOLID WASTE SLAG NICKEL , RICE BOTH DRINKS , AND FLY ASH BECOME PAVING BLOCK A . PENDAHULUAN Sektor industri merupakan salah satu sektor penting dalam p," vol. 18, no. 1, pp. 1–12, 2018.
[5] A. Gaus, N. Marsaoly, and A. Abdul, "PENGARUH PENGGUNAAN SERAT POLYETHYLENE," vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2020.
[6] E. Ngii, "PERBANDINGAN KINERJA FILLER SLAG NIKEL DENGAN KAPUR PADAMAN DALAM CAMPURAN HRS (HOT ROLLED SHEET)," vol. 6, pp. 15–22, 2008.
[7] A. T. Arrang, R. Irmawaty, and R. Djamaluddin, "EFEKTIFITAS SABUT KELAPA SEBAGAI STABILIZING AGENT DALAM CAMPURAN STONE MATRIX ASPHALT AGREGAT SLAG NIKEL," pp. 24–26, 2022.
[8] A. R. Asrib, "Pembangunan Struktur Bangunan Air Menggunakan Limbah Slag Nikel sebagai Agregat Kasar," pp. 643–647, 2019.
[9] K. Andi Batari Angka and Ari, "SLAG NIKEL SEBAGAI BAHAN SUBTITUSI PADA KARAKTERISTIK CAMPURAN," vol. 2017, pp. 89–94, 2017.
[10] M. Imam and W. Azis, "UJI EXPERIMENTAL VARIASI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPHALT AC-BC," vol. 2, no. 1, 2022.
[11] R. T. Bethary and D. E. Intari, "Penggunaan Limbah Slag Nikel Untuk Material Jalan Ramah Lingkungan," vol. 11, no. 1, 2022.
[12] S. Nensi, "Analisis Stabilitas Marshall Terhadap Penggunaan Marmer Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Pada Campuran Ac-Wc," pp. 2–8, 2018, doi: 10.33364/konstruksi/v.1-1.xxxx.
[13] S. M. Hafram and A. Alifuddin, "Pengaruh Variasi Slag Nikel Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus pada Campuran Lapisan Aspal Beton," vol. 6, no. 2, pp. 101–107, 2021.
[14] W. M. I. M. A. K. S. I. K. Sudarsana, "PENGGUNAAN TERAK NIKEL SEBAGAI AGREGAT DALAM CAMPURAN BETON," vol. 4, no. 2, pp. 36–45, 2016.
[15] K. Saka, S. Herman, and P. Desi, "Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi Slag Baja dan Slag Nikel Sebagai Agregat Kasar," vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2020.