

Penggunaan Limbah Slag Nikel Untuk Material Jalan Ramah Lingkungan

Rindu Twidi Bethary¹, Dwi Esti Intari²

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Kota Cilegon – Banten 42435

rindubethary@untirta.ac.id

Diterima redaksi: 25 Maret 2022 | Selesai revisi: 10 April 2022 | Diterbitkan *online*: 30 April 2022

ABSTRAK

Pembaharuan dan penggunaan limbah merupakan salah satu isu yang cukup penting dewasa ini terkait dengan pembangunan jalan ramah lingkungan dan berkelanjutan, dimana penggunaan agregat alam sebagai material infrastruktur jalan menyebabkan ketersediannya semakin berkurang, sehingga dibutuhkan material alternatif salah satunya adalah slag nikel. Produksi nikel yang semakin meningkat berbanding lurus dengan produksi slag nikel sebagai produk limbah dari pengolahan nikel. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi dan pengendalian kinerja campuran beraspal dengan menggunakan slag nikel pada lapisan perkerasan Laston lapis antara (AC- BC). Pengujian yang dilakukan antara lain karakteristik sifat fisik dari material yang digunakan yaitu aspal, agregat dan slag nikel, kemudian untuk sifat kimiawi dan mineral dari slag nikel dilakukan pengujian pengujian *X-ray fluorescence spectrometry* (XRF), *X-ray diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sedangkan metode empiris dengan pengujian Marshall mengacu pada ketentuan sifat-sifat campuran Laston lapis antara (AC-BC) Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga Tahun 2018 dan untuk metode mekanistiknya berdasarkan pengujian modulus resilien dengan alat UMATTA. Slag nikel dikategorikan sebagai limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (B3) sehingga dibutuhkan pengujian untuk mengetahui kandungan zat berbahaya. Salah satu cara adalah dengan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCPL) dari pengujian yang dilakukan nilainya lebih kecil dan memenuhi persyaratan begitu pula hasil pengujian karakteristik fisik slag nikel memenuhi persyaratan yang digunakan dalam material konstruksi jalan. Sehingga slag nikel ini merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk material konstuksi jalan ramah lingkungan.

Kata kunci: slag nikel, TCLP, ramah lingkungan.

ABSTRACT

The recycling and use of waste is one of the quiet important issues associated with the construction of environmentally friendly and sustainable roads today. The use of natural aggregates as materials for road infrastructure reduces availability, necessitating the need for alternative materials, one of which is nickel slag. The increase in nickel production is directly proportional to the increase in nickel slag production as a byproduct of nickel processing. The purpose of this research was to assess and control the performance of asphalt mixtures containing nickel slag in the Intermediate Laston (AC-BC) pavement layer. The physical properties of the materials used, namely asphalt, aggregate, and nickel slag, were tested, and for the chemical and mineral properties of nickel slag, X-ray fluorescence spectrometry (XRF), X-ray diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscope (SEM) tests were performed. On the other hand, the empirical method using the Marshall test referred to the mixed properties regulation of ACBC (Last Intermediate Layer) in the general specification for road and highway bridges in 2018, and the mechanical method is the UMATTA tool. Nickel slag was classified as toxic and hazardous (B3) waste and requires testing to confirm the content of hazardous substances. One method was to test the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCPL), and the results of the tests showed that the value was lower and meets the requirements, as

well as the results of testing the physical properties of nickel slag meet the requirements used in road construction materials. As a result, nickel slag is a viable alternative for environmentally friendly road construction materials.

Keywords: nickel slag, TCLP, environmentally friendly.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan merupakan bagian penting dalam sistem jaringan jalan untuk mendukung peningkatan pembangunan di Indonesia. 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.

Kegiatan pembangunan dan pemeliharaan 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) [1,2], 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.

Indonesia memiliki cadangan nikel nomor 1 di dunia yang mencapai 72 juta ton atau 52% dari total cadangan dunia. Produksi bijih nikel Indonesia pada tahun 2019 sebesar 800 ribu ton atau sekitar 30% dari produksi total di dunia [3], pemerintah terus mendorong untuk program hilirisasi industri dengan mengurangi ekspor bahan mentah atau raw material dan pemrosesan bijih nikel didalam negeri [4]. Besarnya peningkatan produksi ini sejalan

dengan limbah limbah sampingan produksi terak (slag) yang dihasilkan dari pengolahan nikel. Industri peleburan dan pemurnian domestik menghasilkan sekitar 21,8 juta slag per tahun dimana baja dan nikel menjadi industri yang menghasilkan slag terbesar [5], dimana pada kurun waktu tahun 2019 sampai dengan 2024 diperkirakan dapat menghasilkan limbah slag sekitar 14.173.000 ton.

Penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat alam masih terkendala, hal ini dikarenakan berdasarkan Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 yang menyatakan slag nikel merupakan salah satu bahan yang masuk kategori B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) [6].

Penggunaan slag nikel dalam campuran beraspal salah satunya adalah sebagai filler pada campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) yang kekuatan campurannya tergantung pada kekuatan mortarnya (campuran agregat halus, filler, dan aspal), pada kadar filler slag 1% didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,75% dengan nilai stabilitas lebih baik dibandingkan dengan menggunakan filler kapur padaman [7]. Sedangkan pada penggunaan slag nikel fine III dengan filler sebesar 9% didapatkan KAO 6,54% dan filler sebesar 11,2 % diperoleh KAO 7,023% [8]. Pada penelitian lain untuk campuran AC-WC slag nikel digunakan sebagai bahan tambah agregat halus menunjukkan kadar slag nikel optimum adalah 10% dengan nilai kuat tarik maksimum sebesar 79.147,74 KPa dan nilai kuat tarik berkurang setelah penambahan slag nikel diatas 10% [9].

Salah satu pemanfaatan limbah slag nikel yang besar dapat digunakan sebagai bahan lapis perkerasan jalan, dimana untuk campuran AC-Base dengan variasi 25%, 50%, 75% dan 100% pada kadar aspal optimum 5,6 % didapatkan nilai stabilitas terbesar pada variasi slag 25% [10]. Pada campuran Lataston HRS-

Base dengan menggunakan slag nikel sebagai pengganti agregat kasar dimana pada kadar aspal optimum 6,35% dapat digunakan dengan karakteristik memenuhi persyaratan Bina Marga [11]. Berkenaan dengan hal tersebut penelitian akan dilakukan pada kontruksi perkerasan lentur lapisan antara (*binder course*) dimana pada paper ini merupakan bagian dari tinjauan pustaka dari kajian evaluasi campuran aspal dengan menggunakan limbah slag sebagai bahan pengganti agregat yang ramah lingkungan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lapis Beton Aspal

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan beraspal pada kontruksi jalan raya yang terdiri dari agregat, aspal dan bahan pengisi (*filler*) dengan suatu gradasi menerus kemudian dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas sehingga menghasilkan campuran dengan daya ikat yang kuat. Menurut Bina Marga Dept.PU, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai dengan ukuran yang terkecil.

Lapisan aspal beton ini memiliki tingkat kekakuan tinggi. Karena itu, bahan ini tidak cocok diletakkan pada lapis yang fleksibel, seperti lapis penetrasi. Tipe kerusakan yang umumnya terjadi pada lapisan ini adalah retak dan terlepasnya butir sehingga dibutuhkan perbaikan dalam hal kelenturan dan daya tahannya. Hal ini karena beton aspal mempunyai rongga antara agregat yang kecil, sehingga volume aspal yang menyelimuti butir agregat juga sedikit.

2.2 Slag Nikel

Hasil penambangan dan pengolahan bijih nikel menghasilkan limbah padat yang disebut dengan slag, dengan komposisi bahan antara lain 70% komposisi kimia terdiri dari Silika 41,47%, Ferri Oksida 30,44% dan Alumina 2,58%. Dengan komposisi silika yang cukup besar pada slag nikel diharapkan proses hidrasi

yang terjadi antara pasta dan semen agregat membentuk interface yang lebih sempurna, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada interface, atau walaupun terjadi pada interface diperlukan energi yang cukup tinggi [10].

Limbah slag terbentuk melalui proses peleburan bijih nikel adalah: slag cair dengan temperatur kisaran $\pm 1550^{\circ}\text{C}$ langsung dikeluarkan melewati slag runner ke kolam granulasi (*slag granulation pond*) kemudian slag cair yang mengalir akan mengalami pendinginan. Metode pendinginan pada pengolahan slag terdapat 2 proses dimana dibantu dengan semprotan air dengan tekanan tinggi untuk memecah ukuran slag sehingga terbentuk granule (butiran-butiran) dan pendinginan dengan udara, dimana ukuran butir agregat limbah slag nikel bisa diatur dengan alat pemecah batu (*stone crusher*), berikut pada gambar 1 proses pengolahan slag.



Gambar 1. Pengolahan Slag Nikel

2.3 Agregat

Agregat merupakan bahan utama untuk struktur jalan, adalah sekumpulan butir batu pecah dan pasir, atau mineral yang lain, baik hasil dari alam maupun buatan yang merupakan penentu utama bagi kapasitas daya dukung suatu perkerasan, dimana berdasarkan ukuran butirannya dibagi menjadi tiga yaitu agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*).

Spesifikasi Bina Marga menyatakan bahwa agregat kasar terdiri dari batu pecah dan kerikil pecah yang tertahan pada saringan No.4 atau ukuran saringan 4,75 mm, sedangkan agregat halus adalah material yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Bahan pengisi (filler) merupakan bahan campuran yang mengisi ruang antara agregat halus dan kasar yang akan meningkatkan kepadatan, debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (75 μm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam perkerasan jalan, yang mana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran, umumnya berkisar antara 90% - 95% dari berat total campuran, atau 75% - 85% dari volume campuran [12]. Agregat yang digunakan Agregat yang digunakan harus dalam keadaan bersih dari kotoran, bahan-bahan organik atau bahan lain yang tidak dikehendaki karena akan mengurangi kinerja campuran [13], sehingga ketika akan digunakan didalam konstruksi jalan harus mengetahui karakteristiknya dengan pengujian di laboratorium.

2.4 Aspal

Aspal adalah suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari senyawa hidrokarbon atau turunannya, yang terlarut dalam trichloro-ethylene, dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal memiliki warna hitam atau kecoklatan, memiliki sifat kedap air dan sifat merekatkan anti (*adhesive*). Aspal mempunyai komposisi kimia yang bermacam-macam dan terbentuk dari banyak molekul hidrokarbon [13].

Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar butiran agregat agar terbentuk material yang padat, sehingga dapat memberikan kekuatan dan ketahanan campuran dalam mendukung beban kendaraan. Aspal dibutuhkan dalam jumlah tertentu untuk mengikat partikel-partikel agregat, mengisi rongga antar agregat, dimana di Indonesia umumnya digunakan aspal padat dengan penetrasi 60 dan penetrasi 80, untuk aspal dengan penetrasi rendah biasanya digunakan di

daerah yang bercuaca panas atau di daerah dengan volume lalu lintas tinggi, misalnya di perkotaan. Sedangkan aspal padat dengan penetrasi tinggi biasanya digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau daerah dengan volume lalu lintas yang rendah, misalnya di pedesaan dengan daerah yang berbukit-bukit.

3. Metodologi Penelitian

Bahan dalam penelitian ini selain slag nikel, menggunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Slag nikel yang digunakan berasal dari limbah bijih nikel yang diproduksi oleh PT Growth Java Industri, sedangkan agregat berasal dari batching plant PT Bukit Sanur Wijaya, dan aspal yang digunakan adalah aspal pertamina dengan Pen 60/70. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan mengadakan kegiatan percobaan di laboratorium dengan campuran aspal panas menggunakan slag nikel sebagai bahan pengganti agregat.

Tahapan penelitian ini dibagi secara keseluruhan menjadi empat tahapan sebagai berikut:

1. Tahap Pendahuluan pada tahap ini diawali dengan kajian literatur dan pengumpulan data sekunder mengenai hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, dari studi literatur tersebut diambil sebuah hipotesis masalah dan keterbaruan dalam hal penggunaan slag nikel sebagai pengganti agregat.
2. Tahap kedua adalah dilanjutkan dengan pemeriksaan karakteristik bahan secara fisik dan kimiawi serta perancangan campuran beraspal yang menggunakan gradasi Laston lapis antara (AC-BC) yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan, Bina Marga Tahun 2018. Kemudian dilakukan juga pengujian XRD untuk menganalisis sistem kristal pada slag dan XRF untuk menganalisa komposisi kimia dan juga konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam material slag.
3. Tahap ketiga adalah dilanjutkan Kemudian kegiatan penelitian dilanjutkan dengan pengujian empiris campuran beraspal Marshall untuk mendapatkan kadar aspal optimum dan pengujian mekanistik modulus resilien campuran beraspal. Pengujian Marshall ini bertujuan untuk

menentukan stabilitas dan kelelahan plastis dari campuran beraspal. Pengujian stabilitas bertujuan untuk mengukur ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas dan uji kelelahan plastis untuk menentukan perubahan bentuk yang terjadi akibat lalu lintas. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian perendaman Marshall untuk melihat ketahanan campuran terhadap pengaruh kerusakan oleh air. Air pada campuran beraspal dapat mengakibatkan berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat sehingga dapat melemahkan ikatan antar agregat. Pengujian ini dilakukan sesuai pada Pedoman Teknik No. 025/T/BM/1999 pada benda uji dengan Kadar Aspal Optimum, setengah jumlah benda uji disiapkan pada kondisi standar dan sisanya diuji setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C. Masing-masing pengujian dicari nilai rata-ratanya lalu dibandingkan antara stabilitas benda uji standar dan benda uji setelah perendaman merupakan ketahanan terhadap pengaruh air atau yang disebut Indeks Kekuatan Marshall Sisa dinyatakan dalam persen.

Kemudian dilanjutkan dengan pengujian modulus resilien yang menggunakan benda uji berbentuk silinder yang sama ukurannya dengan benda uji Marshall. Benda uji dibebani dengan beban tekan haversin atau segitiga pada bidang vertikal dimetrikalnya melalui batang pembebanan. Besarnya deformasi balik horizontal yang terjadi diukur dengan menggunakan dua buah transducer. Benda uji harus dikondisikan terlebih dahulu sebelum pencatatan deformasi baliknya. Pengkondisian dimaksudkan untuk mendapat keseragaman pembacaan deformasi baliknya dan ini dilakukan dengan memberikan pembebanan berulang yang cukup kecil. Setelah itu baru dilakukan pembebanan yang sebenarnya dengan rentang pengulangan beban tipikal sebanyak 50-200 kali dengan variasi temperatur yang disesuaikan dengan kondisi temperatur perkerasan di Indonesia.

4. Tahap keempat ini adalah analisis data serta pengembangan model campuran

beraspal berdasarkan pengujian yang telah dilakukan.

Pengujian dilakukan dilaboratorium jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan untuk pengujian lanjutan mekanistik dilakukan di Pusat Pengembangan Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR, dimana pada kali ini akan membahas lebih lanjut tahap pertama pada penelitian ini.

4. Pembahasan

4.1 Pemilihan Material Slag

Konstruksi jalan di Indonesia secara umum lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, dimana pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya membutuhkan jumlah agregat yang banyak. Penggunaan bahan agregat alami dan terus menerus dalam jumlah banyak dapat menghabiskan persediaan bahan agregat alami yang jumlahnya terbatas, salah satu alternatif dapat juga memanfaatkan agregat buatan yaitu slag nikel. Metode ini merupakan salah satu *green material* karena memanfaatkan limbah dari industri.

Penggunaan slag nikel sebagai campuran beton untuk menggantikan agregat pada beton atau mortar dari proses peleburan bijih nikel lateritik di Sulawesi termasuk kategori high Fe dan berpotensi digunakan sebagai material alternatif agregat kasar ataupun halus pada beton dan mortar [14]. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang menggunakan persentase slag nikel 0% - 80% menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan dari beton tanpa kadar slag ke beton dengan kadar slag 20 dan 40%, tetapi mengalami penurunan pada kadar 60 dan 80% dengan kuat tekan rata-rata beton optimum diperoleh pada kadar slag 40% sedangkan nilai kuat lentur rata-rata tertinggi terjadi pada beton dengan kadar slag 60% [15]. Slag nikel banyak digunakan sebagai material untuk penahan erosi, lapisan subbase dan campuran aspal hotmix pada campuran Aspal lapisan Lataston HRS-Base dengan slag nikel sebagai pengganti agregat kasar bergradasi senjang dan semi senjang pada kadar aspal optimum 6,35% didapatkan indeks perendaman sebesar 97,03% dan 98,00% yang artinya campuran tahan terhadap perubahan suhu [10]. Penggunaan slag nikel sebagai

bahan lapis fondasi kelas A menunjukkan nilai CBR Soaked 115% sehingga memenuhi sebagai bahan lapis fondasi kelas A karena lebih tinggi dari 90% [16].

4.2 Material Ramah Lingkungan

Penggunaan slag nikel sebagai material konstruksi jalan tidak lepas dari pengujian lingkungan, karena PP Nomor 101 Tahun 2014 Berikut pada Tabel 1 hasil pengujian TCLP

menggolongkan slag nikel sebagai limbah B3 kategori bahaya 2 dengan kode limbah B403, dengan pemakaian slag nikel dalam jumlah yang besar, maka perlu dilakukan kajian apakah logam berat yang terdapat pada slag nikel akan menyebar atau terlindi dalam jumlah yang besar ke lingkungan. Uji karakteristik beracun melalui TCLP ini untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar pada slag nikel yang akan dibandingkan dengan persyaratan spesifikasi PP 101 Tahun 2014 [4].

Tabel 1. Hasil Pengujian TCLP

No	Parameter	Unit	Hasil	Persyaratan	
				TCLP -A	TCLP -B
1	Lead	Mg/l	< 0,04	3	0,5
2	Cadmium	Mg/l	< 0,05	0,9	0,15
3	Mercury	Mg/l	< 0,002	0,3	0,05
4	Arsenic	Mg/l	< 0,002	3	0,5
5	Antimony	Mg/l	< 0,004	6	1
6	Molybdenum	Mg/l	< 0,06	21	3,5
7	Zinc	Mg/l	0,18	300	50
8	Selenium	Mg/l	< 0,004	3	0,5
9	Copper	Mg/l	0,02	60	10
10	Nickel	Mg/l	< 0,01	21	3,5
11	Silver	Mg/l	< 0,006	40	5
12	Barium	Mg/l	< 0,03	210	35
13	Chromium Hexavalent	Mg/l	< 0,01	15	2,5
14	Chloride	Mg/l	5,38	75000	12500
15	Boron	Mg/l	0,001	150	25
16	Nitrate	Mg/l	0,32	15000	2500
17	Nitrite	Mg/l	0,19	900	150
18	Cyanide	Mg/l	0,01	21	3,5

Sumber: PT Growth Java Industry

Berdasarkan hasil pengujian TCLP pada Tabel 1 maka limbah slag nikel, kandungan bahan beracun seluruhnya lebih kecil dari kolom TCLP-A dan TCLP-B, hal ini berarti bahwa limbah slag nikel dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan pengganti agregat alam.

karena itu limbah slag nikel harus diuji sifat fisik dan dibandingkan dengan persyaratan bahan jalan sesuai dengan Spesifikasi Umum 2018. Hasil pengujian sifat fisik slag nikel dengan sistem pendinginan udara pada Gambar 2 dan Tabel 1.

4.3 Karakteristik Slag Nikel

Pemenuhan karakteristik slag nikel selain secara lingkungan tetai juga secara teknis, oleh



Gambar 2. Slag Nikel

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Slag Nikel

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Abrasi %	23,62	Maks 40%
2	Berat Jenis Slag Kasar		Berat Jenis Bulk >2.5 ;
	Bulk	2,91	Perbedaan
	SSD	2,91	Berat Jenis
	Apparent	2,93	Kasar dan Halus < 0,2
3	Penyerapan	0,24	< 3
4	Berat Jenis Slag Halus		Berat Jenis Bulk >2.5 ;
	Bulk	2,788	Perbedaan
	SSD	2,819	Berat Jenis
	Apparent	2,874	Kasar dan Halus < 0,2
5	Penyerapan	1,113	< 3

Pengujian berat jenis ini dilakukan terhadap slag nikel yang menggambarkan kepadatan (density) dari slag nikel. Selain itu diperoleh juga nilai penyerapan yang menunjukkan banyaknya pori dalam agregat. Pori dibutuhkan untuk menyerap aspal sehingga terbentuk ikatan antar aspal dan butiran agregat.

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan slag nikel tercantum dalam Tabel 2. Perbedaan berat jenis slag nikel kasar dan halus adalah <0,2 dimana nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018. Sedangkan uji penyerapan air agregat yang diperoleh untuk slag kasar dan halus masih memenuhi persyaratan. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 untuk penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.

Pengujian keausan slag nikel dengan alat Abrasi *Los Angeles* dimana nilai yang diperoleh dari pengujian tersebut adalah 23,62

% dan telah memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 yang menetapkan persyaratan maksimal 40%. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa agregat yang digunakan mempunyai nilai keausan yang memenuhi sehingga tidak mudah pecah selama pemadatan atau akibat beban lalu lintas.

4.4 Karakteristik Agregat

Material yang digunakan dalam penelitian ini selain slag nikel adalah agregat baru yang berasal Bojenegara Banten, PT Bukit Sanur Wijaya. Berikut hasil pengujian sifat fisik agregat pada Tabel 3, dimana dari hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat slag kasar memenuhi Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga tahun 2018

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Abrasi %	19,37	Maks 40%
2	Berat Jenis Agregat Kasar		Berat Jenis Bulk >2.5 ;
	Bulk	2,681	Perbedaan
	SSD	2,712	Berat Jenis
	Apparent	2,769	Kasar dan Halus < 0,2
3	Penyerapan	1,185	< 3
4	Berat Jenis Agregat Halus		Berat Jenis Bulk >2.5 ;
	Bulk	2,550	Perbedaan
	SSD	2,611	Berat Jenis
	Apparent	2,722	Kasar dan Halus < 0,2
5	Penyerapan	2,592	< 3

Berat jenis agregat kasar dan halus memenuhi persyaratan dengan perbedaan < 0,2, Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 yang mensyaratkan perbedaan berat jenis agregat kasar dan halus tidak boleh lebih dari 0,2. Sedangkan uji penyerapan air agregat yang diperoleh untuk agregat kasar dan agregat halus masih memenuhi persyaratan. Nilai tersebut juga memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 dengan nilai penyerapan agregat maksimum sebesar 3%.

Sedangkan keausan agregat dimana nilai ini merupakan durabilitas agregat. Nilai yang

diperoleh dari pengujian tersebut adalah 19,37% dan telah memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 yang menetapkan persyaratan maksimal 40%.

4.5 Karakteristik Aspal

Aspal minyak yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak Penetrasi 60/70 yang diproduksi oleh PT. Pertamina (Persero). Berikut hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
1	Berat Jenis Aspal	1,013	$\geq 1,0$
2	Penetrasi 25°C, 100gr, 5detik; 0,1 mm	65,16	60-70
3	Titik Lembek °C	50	≥ 48
4	Daktilitas 25°C, cm	>100	≥ 100
5	Titik Nyala °C	332	≥ 232

Berdasarkan hasil pengujian penetrasi standar (25°C) didapat nilai penetrasi aspal Pen 60/70 sebesar 65,16 dmm, dimana nilai tersebut telah memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 yaitu lebih besar dari 54% untuk aspal Pen 60/70. Pengujian penetrasi dimaksudkan untuk menetapkan nilai kekerasan aspal. Semakin besar nilai penetrasi, maka aspal semakin lunak. Begitu pun sebaliknya, semakin kecil nilai penetrasi maka aspal semakin keras.

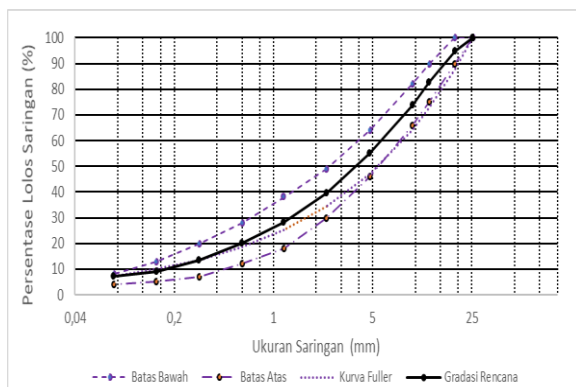
Hasil dari pengujian titik lembek untuk aspal Pen 60/70 sebesar 50°C dengan syarat titik lembek berdasarkan Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 untuk aspal Pen 60/70 minimal 48°C, dimana semakin keras suatu bahan maka akan membutuhkan waktu dan suhu yang semakin besar untuk melelehkan bahan itu sendiri. Sedangkan untuk pengujian daktilitas yang bertujuan untuk mengetahui elastisitas bahan aspal. Aspal yang baik untuk digunakan adalah aspal dengan nilai daktilitas ≥ 100 cm, sesuai persyaratan pada Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018, pengujian daktilitas untuk aspal Pen 60/70 telah memenuhi persyaratan.

Nilai titik nyala untuk aspal Pen 60/70 adalah sebesar 332°C. Nilai ini telah memenuhi Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum 2018 yang mensyaratkan nilai titik nyala ≥ 232 °C untuk aspal Pen 60/70, hal tersebut menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 tahan terhadap panas.

4.6 Rancangan Campuran Beraspal Panas

Pembuatan rancangan campuran beraspal panas dimulai dari pengujian karakteristik material yang digunakan dengan gradasi yang digunakan sebagai acuan adalah gradasi Laston lapis antara (AC-BC) yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan, Bina Marga Tahun 2018. Demikian juga halnya untuk acuan standar campuran yang digunakan juga mengacu pada ketentuan sifat-sifat campuran Laston lapis antara (AC-BC) Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga Tahun 2018, sedangkan untuk pengujian slag berdasarkan masih mengacu sama dengan pengujian agregat alami.

Dalam membuat rancangan campuran harus ditentukan terlebih dahulu gradasi agregat yang akan digunakan dalam penelitian ini jenis gradasi rancangan campuran mengacu kepada amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal AC Lapis Antara/AC-BC. Pemilihan gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja perkerasan jalan. Setiap jenis perkerasan jalan mempunyai gradasi agregat tertentu, pemilihan gradasi dalam penelitian ini adalah menggunakan gradasi tengah, dimana gradasi tengah adalah gradasi agregat yang merupakan nilai tengah dari rentang gradasi, seringkali gradasi tengah disebut sebagai gradasi ideal dari spesifikasi campuran. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 dan 3 karena berat jenis slag nikel dengan berat jenis agregat alam $> 0,2$ maka dalam perhitungan rancangan campuran menggunakan satuan volume. Berikut pada Gambar 3 gradasi yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Gradasi Campuran

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari kajian yang dilakukan adalah:

1. Penggunaan slag nikel merupakan salah satu teknologi green material dalam konstruksi jalan yaitu pemanfaatan limbah hasil industri selain itu dapat menggantikan agregat alami yang digunakan dalam konstruksi jalan dan mengurangi limbah yang dihasilkan dari produksi nikel.
2. Material yang terkandung didalam slag nikel dapat dikategorikan ramah lingkungan karena dari hasil percobaan TCLP semuanya lebih kecil dari persyaratan yang di iijinkan.
3. Karakteristik slag nikel dengan sistem pendinginan udara menunjukkan pemenuhan untuk digunakan sebagai material lapis perkerasan campuran Laston lapis antara (AC-BC) sesuai dengan spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan, Bina Marga Tahun 2018.
4. Teknologi campuran aspal panas menggunakan material alternatif pemanfaatan slag nikel diharapkan secara umum dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal, dan lebih lanjut perlu dilakukan pengujian karaktersitik Marshall dan modulus campuran,

6. Daftar Pustaka

- [1] Affandi, F., dan Kusnianti, N. (2013): Kinerja Perkerasan Campuran Beraspal Hangat Yang Mendukung Pembangunan Berwawasan Lingkungan, Konferensi Regional Teknik Jalan (KRTJ) 12, 1, Bandung.
- [2] Bethary RT, Subagio BS, Rahman H. Campuran Beraspal Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement dan Agregat Slag Baja. *J Transp.* 18(2):117–26.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Peluang Investasi Nikel Indonesia, 2020.
- [4] Iwan Susanto dan Dani Hamdani. Pemanfaatan Limbah Slag Nikel Sebagai Bahan Perkerasan Jalan, Bineka, Oktober 2020.
- [5] Kementerian Perindustrian. Kemenperin Angkat Potensi Slag Nikel Jadi Bahan Baku Industri, 2020.
- [6] Putra DM, Nasrul, Ngii E. Potensi Slag Nikel Halus (Feni4) PT Antam Pomalaa Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Beraspal. *STABILITA.*2020;8:11–20.
- [7] Edward Ngii. Perbandingan Kinerja Filler Slag Nikel Dengan Kapur Padaman Dalam Campuran Hot Rolled Sheet (HRS). *Metropilar*, Volume 6, Nomor 1, 2008.
- [8] Vieta Oktavianna Arkos Syahputri Ressang, Edward Ngii dan Nasrul. Pengaruh Penggunaan Filler Slag. *STABILITA, Jurnal Teknik Sipil.* Volume 8, Nomor 2, Juni 2020.
- [9] Andi Batari Angka dan Kushari. Slag Nikel Sebagai Bahan Substitusi Pada Karakteristik Campuran AC-Base. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M).* pp 89-94, 2017.
- [10] Utami Arruantasik Demmalino, Cyntia Sielviana Widya Lambe, Alpius, dan Rais Rachman. Pengujian Slag Nikel Sebagai Pengganti Agregat Pada Campuran HRS-Base. *Paulus Civil Engineering Journal.* Volume I No.2, 06, Desember 2019.
- [11] Syaharuddin, St. Maryam Haftram, dan Andi Alifuddin. Pengaruh Variasi Slag Nikel Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus pada Campuran Lapisan Aspal Beton. *Jurnal Teknik Sipil MACCa*, Vol 6, No 2, Juni 2021.
- [12] Asphalt Institute, 1983, Principles of Construction of Hot Mix Asphalt Pavement, The Asphalt Institute.
- [13] Hardiyatmo, Hary, C., (2011), Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [14] Wijaya R, Astutiningsih S. Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Terak Nikel (Slag Nikel) sebagai Agregat pada

- Mortar dan Beton. J Teor dan Terap Bid Reayasa Sipil. 2021;9(85):93–100.
- [15] Jalali NA, Salim A. Agregat Halus Slag Nikel Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Pada Beton. Pros Semin Has Penelit.2018;2018:142–7.
- [16] Gunawan G, Prananda IA. Potensi Pemanfaatan Limbah B3 Sebagai Material Konstruksi Jalan. Bineka.2020;1:12–9.