

PEMANFAATAN *SLAG* BESI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN AGREGAT PADA LAPISAN PONDASI ATAS JALAN

Marsedes Purba¹, Gallio Budianto², Samiran³

¹ Program Studi Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung, Politeknik Negeri Medan

Email: marsedespurba@polmed.ac.id dan benz_prb@yahoo.com.au

² Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Medan

³ Program Studi D3 Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

Abstrak. Kemampuan daya dukung dari pondasi jalan sangat ditentukan oleh kualitas material dan kualitas pelaksanaan pembuatan pondasi jalan. Pada penelitian ini dianalisis seberapa besar kemampuan dukung dari lapis pondasi atas yang terbuat dari slag besi sebagai agregat halus dan sebagian sebagai substitusi agregat kasar dan batu pecah. Sampel dibuat dalam 6 (enam) komposisi dengan perbandingan berdasarkan berat. Keenam komposisi terdiri dari tipe: A, B, C, D, E, dan F. Sampel uji untuk *CBR test* dibuat sebanyak 4 buah untuk setiap komposisi. Pengujian *CBR* laboratorium dilakukan dengan dua metode, kering dan terendam. Dua sampel diuji dengan metode kering, dan dua sampel dengan metode basah/terendam. Dari hasil uji laboratorium, dengan metode kering (*unsoaked CBR test*) diperoleh hasil daya dukung (nilai *CBR*) tertinggi pada campuran dengan komposisi tipe D (*slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah = 3:4:3), dimana nilai *CBR* pada penurunan 2,5 mm sebesar 60,12 %, dan pada penurunan 5 mm sebesar 73,45%. Dengan metode terendam (*soaked CBR test*) diperoleh hasil daya dukung (nilai *CBR*) maksimal, pada komposisi E (*slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah = 3:5:2) dengan nilai *CBR* pada penetrasi 2,5 mm, *CBR* = 80,74 %, dan pada penetrasi 5 mm, nilai *CBR* = 90,34 %. Dari keenam komposisi yang dibuat, jika ditinjau dari nilai *CBR* terendam, hanya komposisi tipe E yang memenuhi syarat sebagai Agregat A dengan nilai *CBR* pada penetrasi 5 mm = 90,34 % \geq 90%.

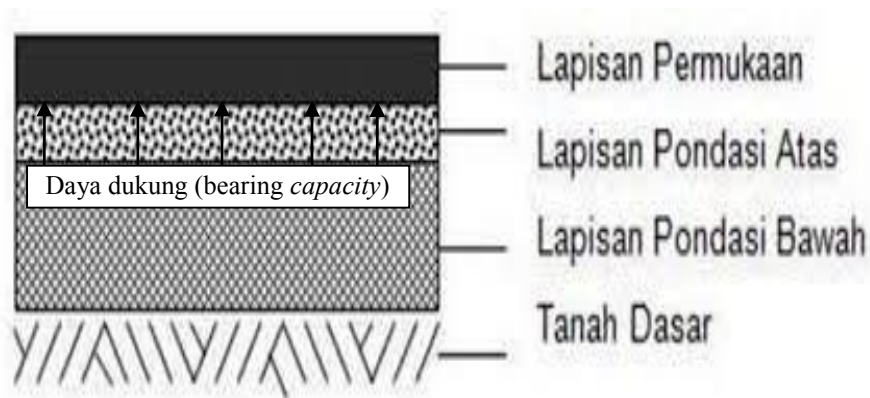
Kata Kunci: Pondasi, *Slag* Besi, Batu Pecah, *CBR*

Diterima Redaksi: 18-04-2022 | Selesai Revisi: 05-05-2022 | Diterbitkan Online: 30-11-2021

1. PENDAHULUAN

Pada bangunan jalan raya, jalan kereta api, dan terminal, secara umum lapisan perkerasan terdiri dari pondasi bawah dan pondasi atas. Pondasi bawah maupun pondasi atas biasanya terbuat dari material campuran pasir dan batu/kerikil. Namun adakalanya, material pondasi ditambah dengan bahan tambah atau material substitusi seperti abu, semen, tanah pilihan, dan *slag* besi. Diharapkan material tambahan atau substitusi dapat meningkatkan daya dukung dan stabilitas pondasi.

Pada perencanaan pondasi lapisan perkerasan jalan (Gambar 1), selain memperhitungkan karakter teknis dari tanah dasar, bahan pondasi lapisan jalan, dan umur rencana jalan, perlu juga dipertimbangkan beban statis dan beban dinamis (Modul Desain Perkerasan Jalan, 2016).



Gambar 1: Lapisan Perkerasan Jalan

Pembangunan infrastruktur berupa jalan dan terminal, berakibat kepada kebutuhan material, seperti batu/kerikil dan pasir yang merupakan bahan dasar untuk pondasi lapisan perkerasan, meningkat secara signifikan. Sementara, ketersediaan material di alam semakin menipis/terbatas. Hal ini menjadi salah satu dasar pemikiran untuk mencari sumber material lain dengan fungsi yang sama. Pada saat yang bersamaan, di dunia industri, pabrik baja menghasilkan kerak besi atau *slag* besi dalam jumlah yang sangat banyak. Sebagai contoh, dari informasi yang diperoleh, PT. Growth Sumatra Industry menghasilkan *slag* besi sekitar 40.000 ton per-tahun, atau 109,6 ton perhari (PT. GSI, 2021). Sementara, di Indonesia ada cukup banyak industri penghasil besi. Jika tidak digunakan, *slag* besi ini akan menjadi limbah yang merugikan. Pertimbangan teknis, pada penelitian sebelumnya (Purba dkk, 2019), diperoleh bahwa *slag* besi mempunyai nilai berat jenis spesifik, G_s yang lebih besar dari G_s agregat alami. Data ini memperlihatkan bahwa material *slag* besi dapat digunakan sebagai material untuk lapisan perkerasan jalan.

Slag adalah limbah besi dan baja dalam bentuk bongkalan-bongkalan kecil, yang secara fisik menyerupai agregat kasar atau agregat halus yang diperoleh dari hasil samping pembuatan baja dengan tanur tinggi (Gunawan dkk, 2011). *Slag* adalah limbah padat bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada tanur (*furnace*) dan material ini merupakan kumpulan oksida dalam keadaan lebur dan terpisah dari fasa logam cair selama proses peleburan (Anonym, 2017).

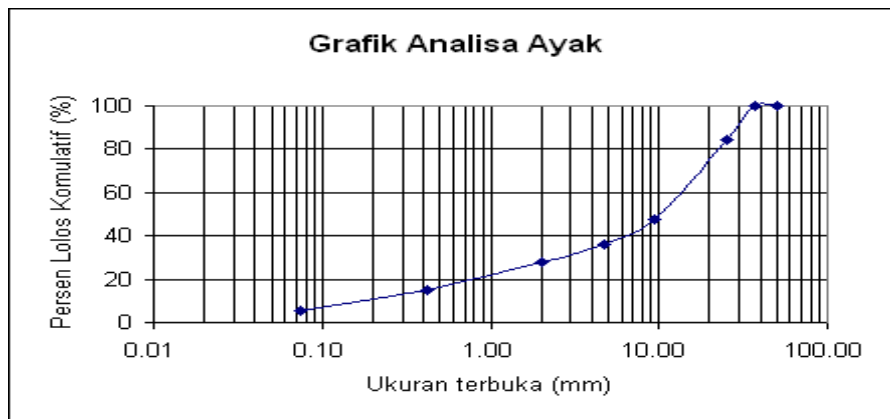
Keberadaan slag besi (SNI 8378:2017)

- a. BF Slag (*blast furnace iron slag*) slag hasil pemisahan dan pendinginan dari proses peleburan besi di dalam tanur tiup (*Blast Furnace*) dengan kandungan utama kalsium silikat dan aluminium silikat
- b. BOF Slag (*basic oxygen furnace slag*) slag hasil pemisahan dan pendinginan dari peleburan baja di dalam tungku tanur oksigen
- c. EAF Slag (*electric arc steel slag*)

Anwar Yamin, Kepala Bidang Standarisasi dan Kerja Sama Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Rini, 2018), mengatakan berdasarkan penelitian, *slag* baja atau besi memiliki daya lekat yang lebih baik dibandingkan dengan agregat

konvensional lainnya, seperti batu alam. Lebih lanjut, dikatakan bahwa *slag* baja memiliki muatan ion positif, sehingga ikatannya bagus.

Beberapa aspek teknis yang perlu diperhatikan di dalam pemilihan material pondasi bawah suatu konstruksi adalah *specific gravity*, kadar air, kadar organik, kekerasan butir agregat, dan gradasi butir. Gradasi butir dan kadar air berpengaruh terhadap kepadatan (*interlock strength*) dan bobot dari pondasi. Untuk keperluan pondasi bawah, material yang digunakan harus berkategori gradasi yang “*well graded*” (Das, 1985).



Gambar 2: Grafik Analisis Ayak (Gradasi Butir)

Density dari material pondasi jalan memberikan dampak secara terhadap bobot dan kemampuan dukung dari lapisan pondasi. Kepadatan atau densitas lapisan pondasi dipengaruhi secara langsung oleh *specific gravity* dari masing-masing materi pengisi lapisan pondasi, gradasi butir campuran, kadar air, dan metode/proses pemadatan.

Pada penelitian sebelumnya (Purba dkk, 2019), dengan judul Pemanfaatan *Slag* Besi Sebagai Bahan Pengisi Lapis Pondasi Bawah Beton Kurus pada Lantai Bangunan Bawah Tanah, diperoleh bahwa nilai *specific gravity*, G_s dari *slag* besi berkisar 3,3. Dengan G_s *slag* besi $>$ dari G_s agregat alam, diharapkan diperoleh kepadatan dan daya dukung yang lebih besar. Setelah melakukan uji CBR, diperoleh bahwa penambahan *slag* beton memberikan peningkatan bobot dan daya dukung. Hasil yang diperoleh, daya dukung tertinggi terjadi pada material B (campuran 1:1:6:3), dengan $CBR_{2,5mm} = 71,68 \%$, dan $CBR_{5,0mm} = 96,58 \%$. Sementara, *mass density* = 2,37 gram/cm³.

Yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa besar daya dukung (nilai CBR) pondasi atas lapisan perkerasan jalan yang terbuat dari material *slag* besi dan batu pecah (agregat kasar secara parsial dan agregat halus secara menyeluruh).
2. Berapa komposisi campuran *slag* besi dan agregat kasar/split yang memenuhi syarat nilai CBR untuk pondasi atas lapisan perkerasan jalan.

Adapun yang menjadi batasan masalah sebagai berikut:

1. Agregat halus yang digunakan bersumber dari *slag* besi.
2. Agregat kasar merupakan gabungan antara split alami dan *slag* besi dengan komposisi yang berbeda.
3. Pengujian daya dukung dilakukan dengan uji CBR laboratorium dengan metode kering dan basah.
4. Material *slag* besi yang digunakan berasal dari PT. Growth Sumatera Industry-Belawan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan tahapan standar dengan referensi yang berlaku, baik ASTM maupun SNI 1774: 2012. Untuk mendapatkan tujuan dari penelitian ini (daya dukung lapisan pondasi atas), rangkaian uji dan parameter uji yang diperlukan adalah:

- a. Gradasi butir “slag besi”
- b. Gradasi butir agregat kasar (batu pecah/split)
- c. Gradasi butir campuran agregat dan “slag besi”
- d. *Specific gravity* slag besi
- e. *Specific gravity* batu pecah/split
- f. *Specific gravity* campuran slag besi dan batu pecah/split
- g. Kepadatan campuran slag besi dan batu pecah/split setelah dipadatkan
- h. Daya dukung campuran slag besi dan batu pecah dalam keadaan kering
- i. Daya dukung campuran slag besi dan batu pecah dalam keadaan terendam

Pada penelitian ini, untuk pengujian daya dukung menggunakan pengujian CBR laboratorium dengan uji CBR kering (*unsoaked-laboratory CBR test*) dan uji CBR basah/terendam (*soaked-laboratory CBR test*). Sementara untuk uji kepadatan, dengan menggunakan metode standar (*standard compaction test*).

Pengujian terhadap parameter sifat material dilaksanakan pada tahap awal (Gambar 3). Kemudian komposisi material dirancang untuk keperluan pengujian kepadatan dan daya dukung. Material yang digunakan untuk penelitian ini adalah *slag* besi dengan ukuran halus, sedang dan kasar. *Slag* besi dengan ukuran halus menjadi pengganti agregat halus alami atau pasir (seluruhnya). Sementara *slag* besi dengan ukuran sedang dan kasar merupakan material pengganti secara parsial agregat kasar digabung dengan batu pecah/split yang berasal dari Binjai.

Rancangan komposisi benda uji, baik untuk uji kompaksi dan uji daya dukung atau CBR test dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Komposisi perbandingan material untuk uji kepadatan dan CBR

| No. | <i>Slag</i> besi halus | Slag besi kasar | Batu pecah | Air | Jumlah sampel uji (unit) untuk Uji kompaksi Uji CBR | |
|-----|------------------------|-----------------|------------|-------------|---|---|
| 1 | 3 | 1 | 6 | disesuaikan | 5 | 4 |
| 2 | 3 | 2 | 5 | disesuaikan | 5 | 4 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|-------------|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 4 | disesuaikan | 5 | 4 |
| 4 | 3 | 4 | 3 | disesuaikan | 5 | 4 |
| 5 | 3 | 5 | 2 | disesuaikan | 5 | 4 |
| 6 | 3 | 6 | 1 | disesuaikan | 5 | 4 |



Gambar 3: Persiapan Material dan Pembuatan Sampel Uji

Tabel 2: Komposisi pencampuran persampel uji untuk *compaction test*

| No. | Slag besi halus : (gram) | Slag besi kasar : (gram) | Batu pecah : (gram) | Air | Jumlah sampel uji (unit) |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------|--------------------------|
| 1 | 1110 | 370 | 2220 | disesuaikan | 5 |
| 2 | 1110 | 740 | 1850 | disesuaikan | 5 |
| 3 | 1110 | 1110 | 1480 | disesuaikan | 5 |
| 4 | 1110 | 1480 | 1110 | disesuaikan | 5 |
| 5 | 1110 | 1850 | 740 | disesuaikan | 5 |
| 6 | 1110 | 2220 | 370 | disesuaikan | 5 |

Tabel 3: Komposisi pencampuran persampel uji untuk *CBR test*

| No. | Slag besi halus : (gram) | Slag besi kasar : (gram) | Batu pecah : (gram) | Air (ml) | Jumlah sampel uji (unit) |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------|--------------------------|
| 1 | 1950 | 650 | 3900 | ± 300 | 4 |
| 2 | 1950 | 1300 | 3250 | ± 300 | 4 |
| 3 | 1950 | 1950 | 2600 | ± 300 | 4 |
| 4 | 1950 | 2600 | 1950 | ± 300 | 4 |
| 5 | 1950 | 3250 | 1300 | ± 300 | 4 |
| 6 | 1950 | 3900 | 650 | ± 300 | 4 |

Pada proses pembuatan sampel/benda uji, baik untuk uji kepadatan, maupun untuk uji daya dukung,

pemadatan dilakukan dengan beban standar. Untuk pemadatan (Huang, 2004), dengan proctor standar, digunakan "hammer" yang berbobot 2,5 kg, dengan tinggi jatuh 30 cm, dan jumlah tumbukan sebanyak 25 kali per lapis, dengan jumlah lapisan tumbuk sebanyak 3 lapis. Sementara pemadatan benda uji untuk uji CBR dipadatkan dengan "hammer" yang berbobot 4,5 kg, dengan tinggi jatuh 45 cm, dan jumlah tumbukan 25 kali per lapis, dan jumlah lapisan sebanyak 5 lapisan.

Untuk uji CBR laboratorium, dilakukan dengan dua model. Dari empat sampel uji yang dibuat pada setiap komposisi, dua sampel diuji dengan metode kering (*unsoaked CBR test*), dan dua sampel diuji dengan metode basah/terendam (*soaked CBR test*). Nilai CBR atau daya dukung diperoleh berdasarkan nilai $CBR_{2,5\text{ mm}}$ dan $CBR_{5,0\text{ mm}}$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

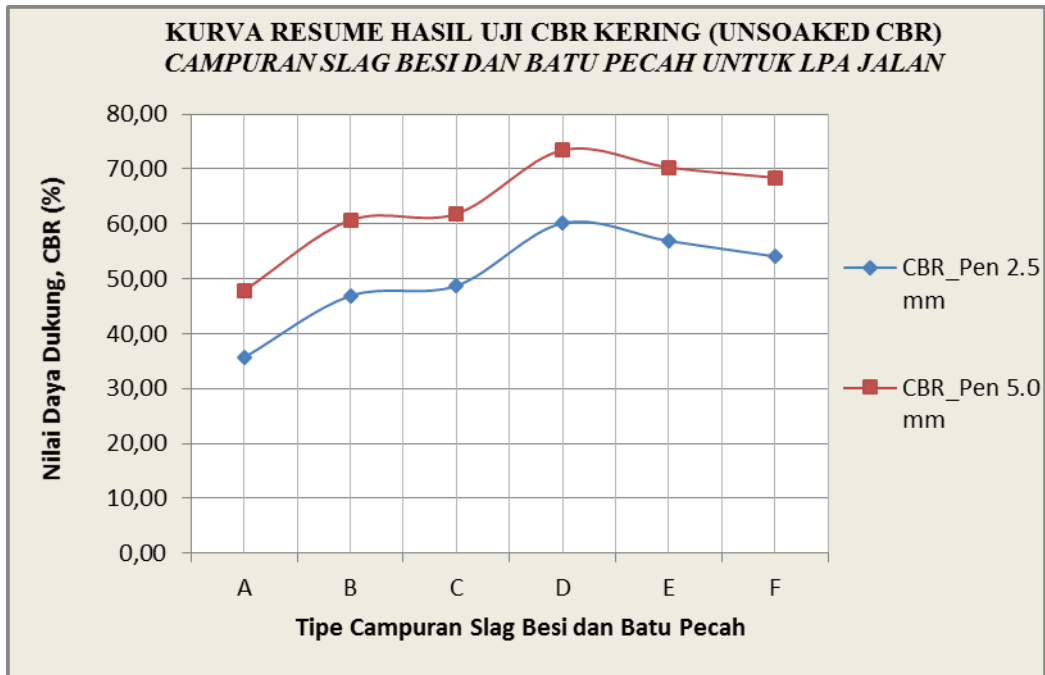
Setelah dilakukan pengujian CBR di laboratorium, data hasil uji diolah seperti yang tertera pada lembaran olah data (Gambar 4). Sebagai contoh pengolahan data, ditampilkan hasil uji CBR terendam dari sampel dengan komposisi tipe D (perbandingan dengan massa *slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah adalah; 3:5:2).

Semua sampel, sesuai dengan rancangan komposisi penelitian diuji, dan data hasil uji diolah dengan cara yang sama. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 serta Gambar 5 dan 6.

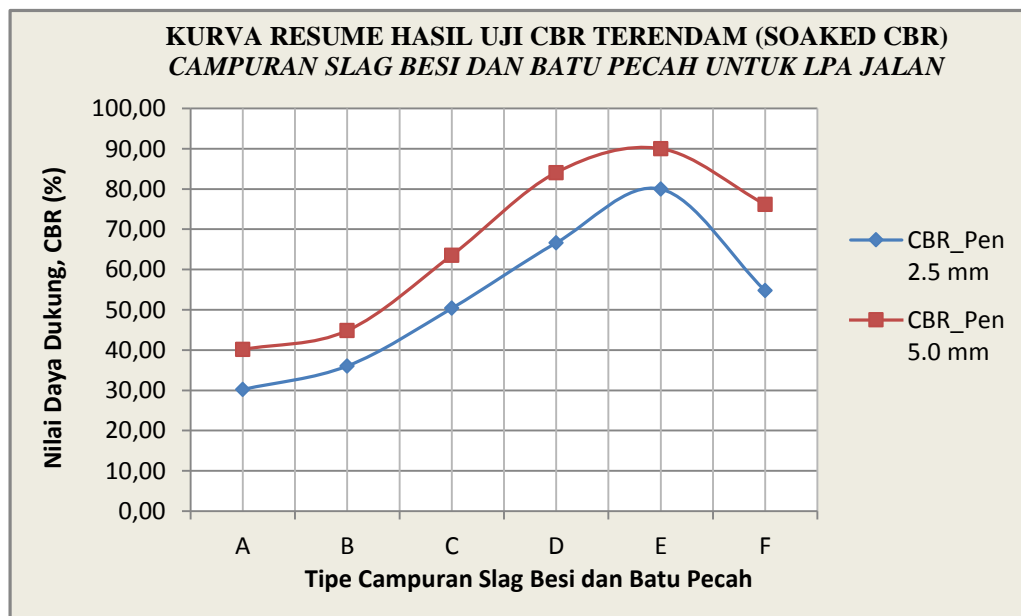
Tabel 4: Hasil pengujian CBR metode kering/*unsoaked-CBR test*

| Tipe Campuran | Komposisi Campuran Campuran | | | CBR (%) | | CBR rata-rata (%) | | Density (gram/cm ³) |
|---------------|-----------------------------|------------------------|------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|
| | <i>Slag</i> besi halus | <i>Slag</i> besi kasar | Batu pecah | Penetrasi (mm) 2, 5 | Penetrasi (mm) 5,0 | Penetrasi (mm) 2, 5 | Penetrasi (mm) 5,0 | |
| A | 1950 | 650 | 3900 | 35,92 | 40,08 | 35,67 | 47,88 | 2,278 |
| A | 1950 | 650 | 3900 | 35,43 | 47,67 | | | 2,275 |
| B | 1950 | 1300 | 3250 | 46,47 | 60,39 | 46,88 | 60,68 | 2,288 |
| B | 1950 | 1300 | 3250 | 47,29 | 60,97 | | | 2,298 |
| C | 1950 | 1950 | 2600 | 48,37 | 61,66 | 48,73 | 61,84 | 2,271 |
| C | 1950 | 1950 | 2600 | 49,16 | 62,02 | | | 2,269 |
| D | 1950 | 2600 | 1950 | 59,71 | 72,91 | 60,12 | 73,45 | 2,195 |
| D | 1950 | 2600 | 1950 | 60,54 | 73,99 | | | 2,209 |
| E | 1950 | 3250 | 1300 | 56,73 | 70,17 | 56,90 | 70,30 | 2,222 |
| E | 1950 | 3250 | 1300 | 57,08 | 70,43 | | | 2,231 |
| F | 1950 | 3900 | 650 | 54,58 | 68,85 | 54,08 | 68,44 | 2,136 |
| F | 1950 | 3900 | 650 | 53,58 | 68,03 | | | 2,139 |

| | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| B | 1950 | 1300 | 3250 | 36,27 | 44,79 | | | 2,217 |
| C | 1950 | 1950 | 2600 | 50,42 | 63,59 | 50,37 | 63,53 | 2,187 |
| C | 1950 | 1950 | 2600 | 50,31 | 63,46 | | | 2,221 |
| D | 1950 | 2600 | 1950 | 66,87 | 84,28 | 66,64 | 84,07 | 2,132 |
| D | 1950 | 2600 | 1950 | 66,40 | 83,85 | | | 2,172 |
| E | 1950 | 3250 | 1300 | 80,57 | 90,42 | 80,74 | 90,34 | 2,184 |
| E | 1950 | 3250 | 1300 | 80,90 | 90,26 | | | 2,243 |
| F | 1950 | 3900 | 650 | 54,41 | 76,05 | 54,74 | 76,13 | 2,188 |
| F | 1950 | 3900 | 650 | 55,07 | 76,20 | | | 2,229 |



Gambar 5: Resume Hasil Uji CBR dengan Metode Kering



Gambar 6: Resume Hasil Uji CBR dengan Metode Terendam

Pembahasan

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap material yang digunakan sebagai bahan lapisan pondasi atas jalan atau (*base course*), diperoleh kadar air optimum untuk pemadatan berkisar antara 4 s.d 5 %. Kepadatan berkisar antara 2,136 s.d 2,298 gram/cm³. Hal ini memperlihatkan bahwa lapisan perkerasan sebagai pondasi atas cukup baik. Sementara untuk keausan, pada tahap awal penelitian dengan komposisi campuran agregat kasar terdiri dari 50 % *slag* kasar dan 50 % batu pecah, dengan metode G, diperoleh nilai keausan atau abrasi dengan *Los Angeless test* sebesar 33,37 %. Untuk komposisi ini, batasan nilai keausan untuk *base course* sudah terpenuhi, sebab batasan menurut SNI 2417:2018 abrasi dari agregat kasar untuk *base* kelas A: 0 – 40 %; kelas B: 0 – 40 %, dan kelas S: 0-40 %.

Namun demikian, untuk komposisi lain, masih perlu diuji nilai abrasinya. Pengujian ini dilakukan agar dapat ditetapkan apakah dua parameter teknis dari material lapisan pondasi, yaitu nilai abrasi dan CBR memenuhi syarat atau tidak, sebagai material lapisan pondasi atas jalan. Jika tidak, berdasarkan nilai yang diperoleh, material tersebut dapat diplotkan menjadi material pondasi yang dapat memenuhi batasan kriteria yang berlaku.

Nilai CBR yang diperoleh dari pengujian dengan metode kering, dengan komposisi yang ada (enam variasi komposisi), dengan metode kering, pada penurunan 2,5 mm diperoleh, nilai tertinggi sebesar 60,12 %, dan 73,45 pada penurunan 5 mm, yang diperoleh pada komposisi tipe D (perbandingan *slag* besi halus: *slag* besi kasar : batu pecah adalah 3 : 4 : 3), sementara yang terendah pada penurunan 2,5 mm, nilainya 36,67%, dan pada penurunan 5 mm nilainya 47,88 %, yang terjadi pada komposisi tipe A (perbandingan *slag* besi halus: *slag* besi kasar : batu pecah adalah 3 : 1 : 6).

Sementara dengan sistem terendam, pada penurunan 2,5 mm diperoleh nilai CBR tertinggi sebesar 80,74 %, dan pada penurunan 5 mm, nilai CBR yang tertinggi sebesar 90,34 %, yang diperoleh pada komposisi tipe E (perbandingan *slag* besi halus: *slag* besi kasar : batu pecah adalah 3 : 5 : 2). Kemudian yang terendah pada penurunan 2,5 mm, nilainya 30,21%, dan pada penurunan 5 mm nilainya 40,13 %, yang terjadi pada komposisi tipe A (perbandingan *slag* besi halus: *slag* besi kasar : batu pecah adalah 3 : 1 : 6).

Dari hasil yang diperoleh, terlihat ada peningkatan daya dukung terjadi seiring dengan meningkatnya kadar/komposisi dari *slag* besi sebagai agregat kasar, dimana pada kondisi kering peningkatan terjadi hingga komposisi D, kemudian pada komposisi E dan F terjadi penurunan. Sementara pada metode terendam, peningkatan terjadi dari komposisi A hingga E, dan penurunan terjadi pada komposisi F.

Berdasarkan kecenderungan peningkatan dan penurunan, diperoleh perubahan relatif stabil, dan daya dukung tertinggi terjadi pada komposisi E, dimana CBR pada penurunan 5 mm, diperoleh nilai CBR 90,34 %, dan komposisi ini dapat memenuhi agregat kasar kelas A sebagai pondasi atas jalan. Namun, agar dapat memenuhi SNI 2417:2018, perlu dilakukan pengujian abrasi pada agregat kasar campuran dengan komposisi tipe E (3:5:2). Bila diperoleh nilai abrasi < 40 %, maka campuran agregat kasar *slag* besi dan batu pecah asal Binjai, dapat digunakan sebagai pondasi atas kelas A.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap penggunaan campuran *slag* besi dan batu pecah sebagai bahan pondasi atas jalan, diperoleh simpulan:

1. Penggunaan *slag* besi halus sebagai pengganti pasir, dan gabungan *slag* kasar dan batu pecah sebagai material lapisan pondasi atas, diperoleh hasil daya dukung (nilai CBR) maksimal untuk metode kering, pada komposisi tipe D (*slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah = 3:4:3) dengan nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm, CBR = 60,12 %, dan pada penetrasi 5 mm, nilai CBR = 73,45 %. Sementara dengan metode terendam, diperoleh hasil daya dukung (nilai CBR) maksimal, pada komposisi E (*slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah = 3:5:2) dengan nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm, CBR = 80,74 %, dan pada penetrasi 5 mm, nilai CBR = 90,34 %.
2. Ditinjau dari nilai daya dukung atau CBR, campuran material komposisi tipe E (*slag* besi halus: *slag* besi kasar: batu pecah = 3:5:2) merupakan campuran yang memenuhi syarat sebagai *base* dengan agregat A, dimana dengan metode terendam, nilai CBR pada penetrasi 5 mm = 90,34 % \geq 90% (SNI 2417:2018). Sementara, komposisi tipe C,D, dan F dapat dipakai sebagai *base* agregat B, dimana diperoleh pada penetrasi 5 mm, nilai CBR \geq 60% (SNI 2417:2008).

5. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1998), *Standar Specification for transportation materials and Methods of Sampling and Testing*, 19th edition, Part II, Washington D.C.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2016), *Diklat Desain Teknik Perkerasan Jalan Modul 5, Desain Perkerasan Jalan Kaku*, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusdiklat Jalan, Perumahan, Permukiman, Dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, Bandung.
- BSN, (2017), *Spesifikasi Material Pilihan (Selected Material) Menggunakan Slag Untuk Kontruksi Jalan*, SNI 8378:2017
- BSN, (2012), *Metode Uji CBR Laboratorium*, SNI 1774: 2012.
- _____ (2021), *Dokumen Evaluasi Lingkungan Hidup*, PT. Sumatra Growth Industry, Medan
- Rini, A.S., (2018), <https://ekonomi.bisnis.com/read/20180131/257/732677/sni-slag-baja-untungan-pabrik> diakses 22 September 2019.
- Das, B.M. (1985), *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS-Publishing Company, Boston, Massachusetts.
- Gunawan, G dkk, (2011), *Pemanfaatan Slag Baja untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan*, Kementerian Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, <http://perpustakaan.pusjatan.pu.go.id/repositori/system/files/01-halamandepan%20slag%20baja%20%281%29.pdf> diakses pada 18 September 2019.

- Huang Y. H. (2004), *Pavement Analysis and Design*, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
- Purba, M. (2016), Efek Pemanfaatan “Tanah Karak” (*Silty-Sand Soil*) Sebagai Bahan Pengisi Campuran Sirtu terhadap Daya Dukung Pondasi Bawah Lapisan Perkerasan Jalan (Penelitian), UPPM Politeknik Negeri Medan, Medan
- Purba, M., Samiran, dan Budianto, B. (2019), Pemanfaatan slag besi sebagai bahan pengisi lapis pondasi bawah beton kurus pada lantai bangunan bawah tanah (Penelitian), UPPM Politeknik Negeri Medan, Medan.