

# PEMANFAATAN LIMBAH SLAG SEBAGAI BAHAN MATERIAL KONSTRUKSI BETON DAN PERKERASAN JALAN

Ali Amal  
Nomor Ang. B-03112  
Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)  
Jl. Darmawansa Raya No. 125 Kec. Kebayoran Baru, Jakarta Selatan  
Email: ali.amal63@yahoo.co.id

## ABSTRAK

Slag merupakan limbah dari hasil pembuatan besi maupun baja selama di tungku Tanur yang diperoleh melalui beberapa macam proses sehingga menghasilkan jenis-jenis Slag seperti *Granulated Blast Furnace Slag* (GBFS), *Basic Oxygen Furnace Slag* (BOFS) dan *Electric Arc Furnace Slag* (EAFS). Di beberapa negara maju Slag telah di manfaatkan sebagai bahan dasar semen portland, sebagai material stabilisasi tanah, bahan penyubur tanah maupun sebagai media untuk bercocok tanam (rook-wool). Namun di Indonesia, pemanfaatan limbah Slag belum maksimal untuk itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan material jika dijadikan tambahan bahan material konstruksi dan perkerasan jalan melalui hasil analisa penelitian-penelitian terdahulu, di peroleh hasil bahwa Slag mengandung Silika yang tinggi sehingga dapat di manfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan semen (Blast Furnace Slag Portland Cement). Sifat fisik dan kimia dari Slag juga dapat di manfaatkan sebagai material pengganti agregat konstruksi beton dan perkerasan. Sehingga dapat mereduksi emisi karbon dioksida pada pemeroduksian semen dan mengurangi pengeksplosian alam juga menjadi bahan material alternatif untuk rantai pasok bahan kostruksi Indonesia memerlukan konsep ekologis.

**Kata Kunci :** Slag, Blast Furnance Slag, Semen, Agregat.

## 1.PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang menjalani pembangunan Infrastruktur yang intensif. Kebutuhan akan material konstruksi untuk pembangunan juga memaksa industri untuk lebih meningkatkan produk industrinya. Ketika produksi industry meningkat, jumlah limbah dari pabrik-pabrik tersebut juga meningkat. Limbah yang dihasilkan jika tidak dikelola secara baik akan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, yang pada akhirnya berdampak pada kondisi lingkungan yang berada disekitar di kawasan tersebut. Oleh karena itu terus berkembangnya inovasi-inovasi dalam pemanfaatan limbah yang tepat guna mengurangi dampak limbah tersebut.

*Slag steel* merupakan limbah hasil pembuatan baja yang mengeras berpori tetapi tidak porous. Limbah ini berbentuk bongkahan dengan ukuran yang sangat beragam. Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007) *slag* dihasilkan dengan proses memakai dapur tanur yang bahan bakarnya dari udara yang ditiupkan. Limbah *Slag steel*, termasuk kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Pada tahun 2010 Indonesia hanya memproduksi sekitar 800 ribu ton *slag* per tahun. Setiap ton produksi baja menghasilkan 20 persen limbah *slag*. PT Krakatau Steel di Cilegon, Banten menghasilkan setidaknya 150 ton slag setiap harinya. Sedangkan, PT. Inti General Yaja Steel, Semarang produksi limbah *Slag steel* mencapai 10 – 15 ton per hari tersebut termasuk dalam kategori limbah bahan beracun dan berbahaya (B3). (Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2011). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan material slag steel sebagai bahan tambahan material konstruksi dan perkerasan jalan dari beberapa peneliitian yang telah dilakukan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan beberapa penelitian dan kajian terdahulu terkait karakteristik bahan material Slag yang akan disampaikan dibawah ini.

### *Slag Steel*

*Slag steel* (terak baja) merupakan produk sampingan dari produksi baja, yang dihasilkan dari proses pemisahan baja cair (*molten steel*) dari pengotor dalam tanur sembur atau ruang tertutup untuk memanaskan logam atau perapian). Terak baja adalah zat yang merupakan bahan tersisa setelah baja diekstraksi dari bijihnya. Baja terak (*slag steel*) juga merupakan material nonlogam yang komponen utamanya adalah kalsium, magnesium dan aluminium silikat dalam berbagai kombinasi (Euro Slag, 2004).

*Slag* sering dianggap sebagai agregat (bahan yang mirip agregat) sehingga persyaratan fisik *slag* umumnya dianggap sama dengan agregat. Sehingga *slag* memiliki sifat kimia yang berbeda jauh dengan agregat alam maka ada persyaratan tambahan lainnya telah ditetapkan untuk *slag* agar dapat digunakan untuk menggantikan agregat standar, persyaratan tersebut adalah keawetan (RSNI2, 2016). *Slag* tergolong limbah B3 sehingga penggunaannya harus sesuai dengan UU Lingkungan Hidup No. 32 tahun 2009 (Republik Indonesia, 2009) bahan slag telah dinyatakan bebas B3 (zat berbahaya dan beracun), (Rifky Arif Laksono 2017), bahan *slag* diuji dengan metode standar EPA, yang menyatakan slag tidak berbahaya dengan hasil tidak mudah terbakar, dengan PH 7,9 (tidak korosif) (Gunawan, G., dkk. 2011).



**Gambar 1.** Bongkahan *Slag steel* mentah.

*Steel Slag* adalah bahan keras dan padat yang mengandung sejumlah *free iron* sehingga memberikan kerapatan dan kekerasan yang tinggi. Pemanfaatan *steel Slag* sebagai bahan pembuat beton dengan semen portland dapat menghasilkan beton bermutu tinggi (Telly Rosdiyani, Faiz Muhadi, 2022). Struktur permukaan agregat yang tidak rata dan bentuknya sangat bersudut (*prismatic shape*). Ini memiliki volume dan berat jenis tinggi, koefisien gesekan yang tinggi dan penyerapan airnya sedang (sampai 3%), ketahanan abrasi yang bagus, kekuatan karakteristik yang bagus, dan kekuatan dukung yang tinggi (Putra, Alif Lamra Amal, 2017)

### *Tipe – tipe Slag steel*

*Slag* merupakan material seperti batu non-metalik yang diproduksi bersamaan dengan produk logam (Hanif. 2012). Saat ini, di Indonesia jenis slag yang umum di gunakan adalah *Blast Furnance Slag – Air Cooled* (ABS) atau *Granulated* (GBS) dan di kenal secara internasional adalah *Basic Oxygen Furnance Slag* (BOS)

### *Blast Furnance Slag* (ABS/GBS)

*Slag Tanur* (*Blast Furnance Slag*) terbentuk dari produksi logam panas dengan pengurangan termo-kimia dalam tanur tiup. Selama proses ini, bijih besi atau pelet serta *fluks* (batu kapur dan atau dolomit) dipanaskan dalam kondisi reduksi dengan udara yang dipanaskan. Batu bara dan zat pereduksi lainnya (misalnya batu bara) dibakar untuk menghasilkan karbon monoksida yang

mengubah bijih besi atau pelet menjadi logam panas cair. Cairan *fluks*, residu dari sumber karbon dan komponen non-logam dari bijih besi digabungkan secara kimia dan menghasilkan Slag non-logam. Logam panas dan *slag* cair mengendap di dasar tanur, di mana *slag* yang kurang padat membentuk lapisan di atas besi cair dan dapat dipisahkan dalam *skimmer* (Euro Slag, 2004)

*Granulated Blast Furnance* (GBS) yang menunjukkan sifat-sifat *cementitious* kemudian dapat di manfaatkan sebagai pengikat hidrolis untuk semen, beton, adukan semen dan nat. Untuk tujuan tersebut, tanah di proses terpisah atau bersama-sama dengan klinker semen Portland dan kalsium sulfat dan disebut sebagai *ground granulated blast furnance Slag* (GGBS). *Unground* GBS dapat digunakan sebagai agregat untuk pembangunan jalan.

#### *Basic Oxygen Furnance Slag (BOFS)*

*Basic Oxygen furnance slag* - BOS (juga disebut *slag LD-converter*) terbentuk selama konversi logam panas dari tungku tiup menjadi baja dalam tungku *basic* oksigen. Dalam proses ini logam panas diolah dengan cara menghembuskan oksigen untuk menghilangkan karbon dan unsur lainnya yang memiliki afinitas tinggi terhadap oksigen. Ketika proses reaksi selesai, baja cair mentah mengendap di dasar tungku dan *slag* cair mengapung di atasnya. Baja mentah dan *slag* dipisahkan ke wadah terpisah pada suhu yang biasanya di atas 1600 ° C.

#### *Sifat Kimia dan Fisik Slag steel*

*Slag* yang mengandung kapur hidrasi sebagai bahan pengikat banyak digunakan di dalam proses peleburan bijih besi dan baja, bahan *slag* mempunyai sifat kimia yang berbeda dengan bahan standar maka persyaratan keawetan menjadi penting (Pandiangan, Jannes. 2016), dengan perbandingan  $\text{CaO} + 0,8 \text{MgO} < 1,2 \text{SiO}_2 + 0,4 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1,75 \text{S}$  atau dengan menghitung perbandingan  $\text{CaO} < 0,9 \text{SiO}_2 + 0,6 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1,75 \text{S}$ . Peraturan tersebut juga dapat dihitung  $\text{SiO}_2$  terhadap jumlah  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  atau dengan perbandingan  $\text{SiO}_2$  besarnya dari  $\text{CaO} + \text{MgO}$ . Pada perhitungan ini pelapukan bahan *slag* adalah 0,786% sedangkan pada bahan standar pelapukan mencapai 1,12%. Di dalam persyaratan bahan *slag* kadar sulfur (S) tidak boleh melebihi 2% dan kadar sulfat terhadap  $\text{SiO}_2$  tidak boleh lebih dari 0,75%, karena sifat dari Sulfur dan Sulfat yang sangat korosif terhadap peralatan campuran beraspal. Untuk hal tersebut di atas, persyaratan pelapukan dari bahan *slag* dibatasi maksimum 4% berbeda dengan pelapukan maksimum standar sebesar 12%.

#### *Komposisi kimia*

Komponen utama *Steel Slag* adalah batu kapur (CaO) dan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ). Komponen lain dari BFS termasuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan magnesium oksida (MgO), serta sejumlah kecil sulfur (S), sedangkan *slag* pembuatan baja mengandung besi oksida (FeO) dan magnesium oksida (MgO). Dalam kasus *slag* pembuatan baja, *slag* mengandung unsur logam (seperti besi) dalam bentuk oksida, namun karena waktu pemurniannya pendek dan jumlah batu kapur yang terkandung besar, sebagian bahan tambahan batu kapur mungkin tidak terlarut seperti CaO bebas. Pengujian kimia. Komposisi kimia *slag* yang telah di lakukan beberapa Negara sebagai berikut sebagai berikut:

**Tabel 1.** Pengujian Komposisi Kimia (Australia)

Komposisi	Slag	Standar
SiO <sub>2</sub>	18,66%	54,12%
CaO	27,36%	7,72%
MgO	4,6%	2,90%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,4%	21,14%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,35%	3,96%
pH	7	6,6

(Sumber : ASA Australian Slag Association,2002)

Berdasarkan pengujian di Negara Australia komposisi kimia sleg yang tertinggi di miliki CaO sebesar 27.36%.

**Tabel 2.** Komposisi Senyawa Kandungan *Slag*, % (Jepang)

Komponen	<i>Blast Furnance Slag (BFS)</i>	<i>Slag Konverter</i>	<i>Electric Arc Furnance Slag</i>		<i>Andesite (Untuk Referensi)</i>	<b>Semen OPC</b>
			<i>Oxidiceing Slag</i>	<i>Reducing Slag</i>		
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO <sub>2</sub>	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S	0.8	0.06	0.2	0.4	-	2.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	1.7	0.3	0.1	-	-
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	-

(**Sumber** : *Nippon Slag Association*, 2003)

Konsentrasii unsur kimia *slag* baja, diperoleh dari data pengujian antara lain dari Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan dapat dilihat dalam tabel 3 dibawah.

**Tabel 3.** Kandungan Unsur Kimia dalam *Stell Slag* (Indonesia)

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Metode
1	Timbal (Pb)	Mg/kg	26,6	AAS
2	Kadmium (Cd)	Mg/kg	<0,003	AAS
3	Tembaga (Cu)	Mg/kg	97,5	AAS
4	Kromium (Cr)	Mg/kg	5353	AAS
5	Perak (Ag)	Mg/kg	<0,001	AAS
6	Selenium (Se)	Mg/kg	<0,01	AAS
7	Barium (Ba)	Mg/kg	817	AAS
8	Merkuri (Hg)	Mg/kg	0,38	AAS
9	Arsen (As)	Mg/kg	0,21	AAS

**Sumber** : Laboratorium Penguji Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, 2016

Berdasarkan pengujian di Indonesia memprlihatkan sleg banyak mengggandung parameter timbal (Pb).

#### *Sifat Fisik*

Pengujian sifat fisik agregat lokal sebagian menggunakan persyaratan agregat standar yang baku (Mehta, P. Kumar and Monteiro, Paulo J. M., 2014), pengujian sifat fisik agregat *slag* diberikan sebagai berikut :

**Tabel 4.** Persyaratan Agregat *Slag*

Pengujian	Metode	Persyaratan
Berat jenis	SNI 03-1969-1990	3,5
<i>Bulk</i>		
<i>SSD</i>		
<i>Aparent</i>		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks 3
Keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i> , %	SNI 03-2417-1991	Maks 40
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium atau Magnesium Sulfat, %	SNI 03-3407-1994	Maks 12
Nilai setara pasir, %	SNI 03-4428-1997	halus maks 50
Material lolos #200, %	SNI 03-4142-1996	maks 1

**Sumber:** Spesifikasi agregat *slag* (PDT 04-2005-B)

**Tabel 5.** Persyaratan Slag Dan Agregat Halus

Pengujian	Standar uji	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam <i>slag</i> dan agregat halus	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Material lolos ayakan 0,075 mm (No.200)	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

**Sumber:** Lumban Gaol, Triboy AM. 2016

### 3. DATA DAN ANALISA

#### Pemenuhan Kriteria Persyaratan Slag

Berdasarkan pembahasan kajian penelitian dan RSNI di sebutkan ada beberapa persyaratan kriteria yang perlu di miliki oleh *slag* yaitu kandungan sulfur (S) yang terkandung dalam setiap slag  $\leq 2\%$  diuji sesuai BS EN 1744-1:2009 +A1:2012 dan pH *slag* harus mempunyai nilai 8-10 diuji sesuai SNI 03-6787. Pada tabel 3 menunjukkan kadar sulfur yang terkandung dalam satuan slag adalah sebesar 0.8% dan lebih kecil dari pada 2%.

#### *Slag steel* terhadap struktur beton

Dari hasil data unsur kandungan *Slag steel Australian Slag Association* pada Tabel 1 komposisi kimia Sleg yang tertinggi di miliki CaO mampu memainkan peran dalam proses hidrasi yang mengubah semen menjadi pasta semen yang mengeras, Slag baja memiliki kandungan silika yang sangat tinggi sehingga memungkinkan untuk diproses lebih lanjut menjadi semen. Hasil penelitian yang dilakukan oleh *Nippon Slag Association* menemukan bahwa penggunaan *slag* sebagai bahan dasar pembuatan semen akan menghasilkan semen yang bermutu tinggi, dengan kuat tekan yang terus mengalami peningkatan seiring dengan umur beton dan juga berarti akan meningkatkan durabilitas beton itu sendiri.

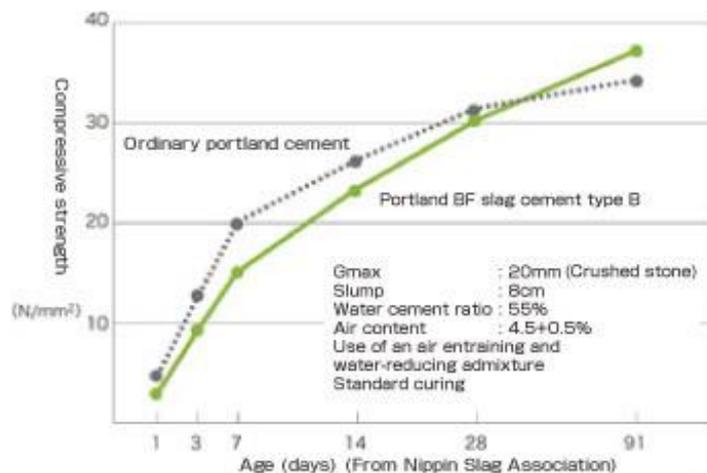


Figure 1: Example of relationship between concrete material age and compressive strength

Sumber : Nippon Slag Association, 2003

**Gambar 6.** Hubungan antara umur dan kekuatan beton antara Semen OPC dan Semen *Slag*

Dari hasil penelitian yang di lakukan *Nippon Slag Association* terlihat mengalami penurunan jumlah emisi CO<sub>2</sub> di Jepang misalnya penggunaan semen portland BFS 20% pada pembangunan salah satu kompleks perumahan akan menghasilkan pengurangan CO<sub>2</sub> per rumah tangga sekitar 1.200 kg ada momentum yang berkembang untuk menghentikan pemanasan global dengan memperluas penggunaan semen *Portland BFS*.

### **Slag terhadap struktur perkerasan jalan**

Pengkajian sifat yang dimiliki slag penggunaan agregat, jika slag baja dimanfaatkan sebagai lapisan dasar perkerasan, dapat mengeras dalam jangka waktu lama. Sifat pengerasan ini dapat digunakan untuk membuat perkerasan yang lebih tipis dibandingkan batu pecah biasa (*crushed stone*) yang digunakan. Material ini dinilai sangat baik karena kemampuannya (*workability*), dengan kelebihan bahwa jalan dapat segera dibuka untuk lalu lintas, dan jalan yang sedang dikerjakan untuk pekerjaan pemadatan jalur dasar dapat berlanjut bahkan jika hujan turun. Selain digunakan sebagai material *base course*, karena sifatnya yang keras dan ketahanannya yang sangat baik, *slag* pembuatan baja juga digunakan sebagai agregat untuk campuran aspal tentunya performa biaya yang ekonomis unggul di bandingkan batu alam yang biasa di gunakan pada konstruksi jalan. *Slag* besi dan baja yang digunakan dalam konstruksi jalan melalui proses pemecahan dan memenuhi persyaratan pengstabilan sifat mekanis *slag blast furnace* dan *slag* pembuatan baja untuk digunakan sebagai bahan perkerasan.

Penelitian Nippon Slag Association, 2003 tentang membandingkan ketebalan perkerasan jalan penggunaan *slag* besi dan baja sebagai bahan konstruksi jalan dengan hasil uji perencanaan lapisan perkerasan tanpa menggunakan slag ketebalan 55 cm terdiri lapisan surface course, Mechanical stabilization, Crusher run, subgrade dengan CBR 3 sedangkan dengan menggunakan campuran Slag ketebalan perkerasan lebih tipis sebesar 45 cm dengan lapisan perkerasan surface course, Hidrolic and mechalically stabilized slag (HMS), Crusher run slag (CS), sub grade dengan kekuatan yang sama. Dari ilustrasi tersebut, terlihat bahwa melalui sifat-sifat yang dimiliki *slag* sebagai *base course* perkerasan jalan, tebal perkerasan dapat di efektifkan menjadi lebih tipis dan penggunaan batu alam menjadi lebih tereduksi sehingga eksplorasi alam menurun.

## **4. KESIMPULAN**

1. *Slag* merupakan hasil samping produksi besi dan baja yang dapat di dimanfaatkan sebagai bahan rekayasa konstruksi untuk menopang kebutuhan rantai pasok bahan kostruksi Indonesia dengan konsep ekologis.

2. Kandungan Silika yang tinggi pada *Slag steel* dapat di manfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan semen (*Blast Furnance Slag Portland Cement*), sehingga mengurangi emisi karbon dioksida yang di hasilkan pabrik semen dan eksplorasi alam Indonesia.
3. *Slag steel* memenuhi kriteria minimum *slag* yang dipersyaratkan didalam RSNI, sehingga pemanfaatan *Blast Furnance Slag* (BFS) maupun *Basic Oxygern Furnance Slag* (BOFS) dapat dimanfaatkan sebagai agregat pengganti material alam sehingga mereduksi eksploitasi alam dan memberi sumbangsi terhadap suplai rantai pasok material di Indonesia.
4. Penggunaan *Slag* sebagai material *base course* maupun campuran konstruksi perkerasan dapat mengurangi tebal perkerasan sehingga memenuhi kinerja perkerasan yang efisien dan ekonomis.
5. Saat ini di Indonesia, *Slag* hasil peleburan besi maupun baja belum di maanfaatkan secara efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- [UU] Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta (ID): Sekertariat Negara
- Euro Slag, 2004. “*Ferrous Slag – general information*”. September 2017 (Source : <http://www.euroslag.com/products/>) diakses 23 Februari 2024
- Gunawan, G., Oetoyo, Pantja Dharma., Kusminingrum, Nanny., Rahmawati. Tri., dan Leksminingsih. 2011. *Pemanfaatan Slag Baja Untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan*. Bandung
- Hanif. 2012, *Penggunaan Slag Steel dengan Variasi FAS terhadap kuat tekan beton*, REINTEK. Volume 7, No.2, ISSN 1907-5030 .
- Lumban Gaol, Tribol AM. 2016. “*Pengaruh Penggunaan Steel Slag Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Lentur Pada Beton Bertulang Dibandingkan dengan Beton Normal*”. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Mehta, P. Kumar and Monteiro, Paulo J. M., 2014. *Concrete : Microstructure, Properties, and Materials, Fourth Edition.*, USA : McGraw-Hill Education
- Nippon Slag Association : 2003. “*About Iron and Steel Slag*”. September 2017 (Source : <http://www.slg.jp/e/slag/index.html>)
- Pandiangan, Jannes. 2016. “*Pengaruh Penggunaan Steel Slag Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Lentur Pada Beton Bertulang Dibandingkan dengan Beton Normal*”. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Pd T-04-2005-B. (2005). *Pedoman Penggunaan Agregat Slag untuk Campuran Beraspal Panas*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Putra, Alif Lamra Amal. 2017. “*Penggunaan Steel Slag Sebagai Agregat Beton Mutu Tinggi*”. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Rifky Arif Laksono, 2017 “*Pengaruh Penambahan Slag Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Marshall Dan Permeabilitas Pada Campuran Panas (Hot Mix) Aspal Porus*”, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol 01 no 01 pp 56-64
- RSNI2 XXXX : 2016. “*Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (LASTON) Menggunakan Slag*”. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Telly Rosdiyani dan Faiz Muhadi, 2022. “*Penelitian Gound Granulated Blast Furnace Slag Sebagai Bahan Pengganti Semen*”, Prosiding KRTJ-HPJI, Bogor 18-21 Desember 2022, hal 1-8