

# **Pemanfaatan Slag Baja Untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan**

*G.Gunawan , Pantja Dharma Oetojo,*

*Nanny Kusminingrum , Tri Rahmawati, Leksminingsih*

## PEMANFAATAN SLAG BAJA UNTUK TEKNOLOGI JALAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

Drs. G.Gunawan, M.Si. , Ir. Pantja Dharma Oetojo, M.Eng. Sc., Ir. Nanny Kusminingrum ,  
Tri Rahmawati, AMD., dan Dra. Leksminingsih

Cetakan Ke-1 Desember 2011

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 977-602-8256-62-9  
Kode Kegiatan : PPK 2 01 115 11  
Kode Publikasi : IRE-TR-016/ST/2011  
Kata kunci : pemanfaatan slag baja, teknologi yang ramah lingkungan, pengelolaan lingkungan hidup

Koordinator Penelitian  
Ir. Pantja Dharma Oetojo, M.Eng.Sc.  
PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Ketua Program Penelitian  
G.Gunawan, M.Si.

Editor  
Ir. Agus Bari Sailendra, MT.

Desain & Tata Letak  
Andrian Roul, SE.

Diterbitkan oleh:  
Kementerian Pekerjaan Umum  
Badan Penelitian dan Pengembangan  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan  
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40294  
Pemesanan melalui:  
Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan  
info@pusjatan.pu.go.id

## KEANGGOTAAN SUB TIM TEKNIS BALAI TEKNIK LALU LINTAS & LINGKUNGAN JALAN

Ketua:  
Ir. Agus Bari Sailendra, MT.

Sekretaris:  
Ir. Nanny Kusminingrum

Anggota:  
Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.  
Dr. Ir. IF Poernomosidhi, M.Sc.  
Dr. Ir. Hikmat Iskandar, M.Sc.  
Ir. Sri Hendarto, M.Sc.  
Dr. Ir. Tri Basuki Juwono, M.Sc.

Nara Sumber:  
Ir. Iyan Suwargana, MT.

© PUSJATAN 2011

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2011, pada paket pekerjaan Penyusunan Naskah Ilmiah Litbang Teknologi Jalan Ramah Lingkungan DIPA Puslitbang Jalan dan Jembatan. Pandangan-pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini merupakan pandangan penulis dan tidak selalu menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum maupun institusi pemerintah lainnya. Penggunaan data dan informasi yang dimuat di dalam publikasi ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Tulisan ini dapat digunakan secara bebas sebagai bahan referensi, pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seijin pemegang HAKI dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebut sumbernya.

Buku ini juga dibuat dalam versi e-book dan dapat diunduh dari website [pusjatan.pu.go.id](http://pusjatan.pu.go.id). Untuk keperluan pencetakan bagi perorangan dan pemanfaatan non-komersial dapat dilakukan melalui pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum.

## **PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN**

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah lembaga riset yang berada di bawah Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini memiliki peranan yang sangat strategis di dalam mendukung tugas dan fungsi Kementerian Pekerjaan Umum dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia. Sebagai lembaga riset, Pusjatan memiliki visi sebagai lembaga penelitian dan pengembangan yang terkemuka dan terpercaya, dalam menyediakan jasa keahlian dan teknologi bidang jalan dan jembatan yang berkelanjutan, dan dengan misi sebagai berikut :

- Meneliti dan mengembangkan teknologi bidang jalan dan jembatan yang inovatif, aplikatif, dan berdaya saing;
- Memberikan pelayanan teknologi dalam rangka mewujudkan jalan dan jembatan yang handal; dan
- Menyebarluaskan dan mendorong penerapan hasil litbang bidang jalan dan jembatan.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna. Kemudian Pusjatan memiliki fungsi untuk memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

# Kata Pengantar

**B**uku yang berjudul Pemanfaatan Slag Baja untuk teknologi jalan yang Ramah Lingkungan, merupakan kumpulan technical Note dari kegiatan Penyusunan Naskah ilmiah Pemanfaatan Slag Baja dalam Bidang Jalan yang Ramah Lingkungan pada Kelompok Program Penelitian Teknologi Jalan dan Jembatan yang Ramah Lingkungan pada Tahun 2011.

Buku ini berisikan tentang informasi dan pengertian tentang Peraturan dan Kebijakan terkait pemanfaatan Limbah B3, sifat sifat pencemar Logam B3, karakteristik limbah Slag Baja, sifat fisik dan kimia dari slag baja, serta pemanfaatan dalam bidang jalan dan pengelolaan lingkungan hidup yang diperlukan dalam aplikasi skala lapangan pemanfaatan limbah B3, diharapkan naskah ini dapat memberikan informasi kepada kita tentang Pemanfaatan Logam B3 umumnya dan khususnya tentang pemanfaatan limbah Slag Baja untuk Bidang Jalan. Kami menyadari bahwa naskah ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan buku ini

# DAFTAR ISI

---

<b>BAB I Pendahuluan</b>	<b>3</b>
<b>BAB II Peraturan dan Kebijakan</b>	<b>4</b>
2.1. Perundangan dan Peraturan Lingkungan Hidup Yang Terkait	4
2.2. Kebijakan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)	5
<b>BAB III Karakteristik Limbah Slag Baja-Slag Besi</b>	<b>6</b>
<b>BAB IV Sifat Kimia dan Pemanfaatan Slag Baja</b>	<b>9</b>
4.1. Agregat slag yang digunakan pada percobaan (Leksminingsih , Pusjatan)	9
4.2. Hasil Kajian Lingkungan Pemanfaatan Slag Baja Oleh PT. Krakatau Steels (2011)	10
4.2.1. Total Logam	10
4.2.2. Oksida Logam	10
4.2.3. Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)	11
4.2.4. Uji Toksisitas (LD 50)	11
4.2.5. pH	12
4.3. Evaluasi Pencemaran Lingkungan Produk Perkerasan Jalan Menggunakan Slag	12
4.3.1. Pemanfaatan Slag Untuk Agregat Campuran Aspal (AC wearing)	12
4.3.2. Evaluasi Potensi Pencemaran dari Pemanfaata Road Base	16
4.4. Hasil Studi Pemanfaatan slag sebagai Road Base Skala lapangan PT KS.	16
4.5. Kajian Lingkungan Slag Baja Puslitbang Jalan	17
4.6. Campuran Beraspal Menggunakan Agregat Slag	21
4.7 Pemanfaatan slag baja untuk Beton	22
<b>BAB V Penutup</b>	<b>24</b>

# DAFTAR GAMBAR

---

Gambar 1. Produksi Baja	7
Gambar 2. Limbah Slag Baja	20
Gambar 3. Pemanfaatan skala penuh Slag Baja Lokasi PT. KS	22
Gambar 4. Pemanfaatan slag baja Lokasi PT KS	22
Gambar 5. Limbah Slag Baja dari Industri Baja	23

# DAFTAR TABEL

---

Tabel 1. Pengujian Komposisi Kimia	8
Tabel 2. Persyaratan agregat slag	8
Tabel 3. Komposisi Logam	10
Tabel 4. Kandungan Oksida Logam Pada Limbah Slag	11
Tabel 5. Hasil Analisis TCLP Slag	11
Tabel. 6. Data Angka Kematian selama Percobaan pada Mencit Jantan dan Betina untuk Unprocessed Slag	11
Tabel. 7. Data Angka Kematian selama Percobaan pada Mencit Jantan dan Betina untuk Processed Slag	12
Tabel 8. Analisis Pengujian TCLP	12
Tabel 9. Hasil Perlindian selama 24 jam	13
Tabel 10. Hasil Pelindian selama 48 jam	13
Tabel 11. Hasil Pelindian selama 96 jam	14
Tabel 12. Hasil Analisis Progressive Leaching untuk Processed slag	14
Tabel 13. Hasil Analisis Progresif Leaching Test Untuk Unprocessed Slag	15
Tabel 14 Data angka kematian selama percobaan pada mencit jantan dan betina untuk produk AC wearing dan Unprocessed slag	15
Tabel 15 Data angka kematian selama percobaan pada mencit jantan dan betina untuk produk AC wearing dan processed slag	16
Tabel 16 Hasil Pengujian CBR	16
Tabel 17 Hasil monitoring penghamparan Road base	17
Tabel 18 Kandungan Total Logam dalam Slag BajaSatuan	17
Tabel 19 Uji TCLP Slag Baja Analisa	19
Tabel 20 Uji TCLP Marshall (Standar)	19
Tabel 21 Uji TCLP Marshall (Campuran Slag Baja)	20
Tabel 22. Hasil Pengujian Campuran Beraspal Mennggunakan Agregat Slag	21







## BAB I

# Pendahuluan

**L**imbah slag baja, yang merupakan sisa dari proses pembuatan baja, masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Tahun 2010 produksi slag di Indonesia baru sekitar 800 ribu ton per tahun, jika dibandingkan dengan Jepang yang mencapai 20 juta ton. Setiap ton produksi baja menghasilkan 20 persen limbah slag.

Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan dengan tegas bahwa limbah slag baja masih termasuk dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). USA dan negara lainnya seperti Jepang mengatakan bahwa limbah slag baja termasuk dalam limbah khusus dan bukan limbah B3. Kalangan Industri baja mengharapkan agar limbah slag bisa dimanfaatkan untuk proyek infrastruktur, Pemanfaatan limbah B3 industry baja dalam

bidang perkerasan jalan belum banyak dilakukan khususnya dalam bidang perkerasan jalan beton semen, begitu juga pengkajian dari aspek lingkungan hidup masih sangat terbatas khususnya kajian B3 dan karakteristik sifat racunnya pada lingkungan.

Sesuai dengan peraturan yang berlaku, khususnya Peraturan Pemerintah No 85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan beracun (B3), bijih baja termasuk dalam limbah B3 dari sumber yang spesifik yaitu dari kegiatan Industri Baja

Ruang Lingkup dalam naskah ini adalah : Peraturan dan Kebijakan terkait pemanfaatan Limbah B3, sifat pencemar Logam B3, karakteristik limbah slag baja, sifat fisik dan kimia pemanfaatan slag baja, dan pengelolaan lingkungan hidup pemanfaatan slag .





## BAB II

# Peraturan dan Kebijakan

### 2.1. Perundangan dan Peraturan Lingkungan Hidup Yang Terkait

Dalam UU RI no 32 tahun 2009 disebutkan yang dimaksud dengan limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan, sedangkan yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energy, dan atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung , dapat mencemarkan dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Adapun yang dimaksud dengan Pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan atau penimbunan.

Dalam pasal 59 disebutkan setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3, dan setiap pengelolaan limbah B3 wajib mendapat izin dari instansi yang berwenang dalam bidang Lingkungan Hidup.

Teknologi perlakuan terhadap limbah untuk menghasilkan produk lain yang bermanfaat atau yang dikenal dengan "waste to product" merupakan alternatif yang banyak dipilih oleh industri penghasil limbah. Teknologi pengolahan limbah lumpur atau sludge melalui metode solidifikasi atau stabilisasi telah berkembang sejak pertengahan tahun 1980-an, dan beberapa negara industri telah menerapkan pada system pengolahan limbah padat, lumpur, contohnya untuk pengolahan abu terbang, oily sludge. Perundang undangan dan peraturan Lingkungan

Hidup yang perlu di acui dalam pemanfaatan limbah B3 dalam Bidang Jalan adalah:

- Undang-Undang Republik Indonesia No 32 Tahun 2009, tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Undang Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004, tentang Jalan
- Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, tentang Jalan
- Peraturan Pemerintah No 85 tahun 1999 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1999, tentang Pengendalian Pencemaran Air

## 2.2 Kebijakan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Masalah limbah menjadi perhatian serius dari masyarakat dan pemerintah Indonesia, khususnya sejak decade terakhir ini, terutama akibat perkembangan industry yang merupakan tulang punggung peningkatan perekonomian Indonesia. Penanganan limbah merupakan suatu keharusan guna terjaganya kesehatan manusia serta lingkungan pada umumnya. Namun pengadaan dan pengoperasian sarana pengolah limbah ternyata masih dianggap memberatkan bagi sebagian industry.

Dalam pasal 58 UU nomor 32 tahun 2009 disebutkan bahwa memanfaatkan B3 wajib melakukan pengelolaan B3. Pengelolaan limbah B3 wajib mendapat izin dari instansi pengelolaan lingkungan hidup.

Pemanfaatan limbah B3 dapat dilakukan oleh penghasil atau Badan Usaha yang mempunyai izin.

Seperti halnya pengumpul, maka pemanfaatan limbah wajib mencatat hal-hal yang menyangkut limbah tersebut secara baik. Catatan sekali dilaporkan kepada instansi yang berwenang, dengan tembusan ke Walikota/Bupati. Seperti halnya pemanfaatan limbah, maka pengolah dan pengurung limbah B3 adalah Badan Usaha yang mengoperasikan sarana pengolahan, termasuk penimbunan akhir hasil pengolahannya.

Kewajiban pengolah limbah antara lain adalah :

- Membuat/melakukan AMDAL
- Mempunyai dan menjalankan fasilitas pengolahan dan penimbunan sesuai dengan ketentuan
- Memiliki system tanggap darurat bila terjadi kecelakaan

Kep-03/Bapeda/09/1995 mengatur persyaratan teknis pengolahan limbah B3, antara lain tentang : Lokasi pengolahan,fasilitas pengolahan penanganan limbah sebelum diolah, dan setelah diolah (residu)

Persyaratan teknis lain yang meliputi pengolahan secara fisika dan kimia, stabilisasi/solidifikasi, dan insinerasi

Sedang Kep-04/Bapeda/09/1995 mengatur tata cara penimbunan. Penanggung jawab kegiatan tersebut wajib menyampaikan laporan mengenai pengolahan dan pengurugan limbahnya serta hasil pemantauan baku mutu limbah yang dihasilkan sekurang-kurangnya 3 bulan sekali kepada Kepala Bapeda dengan tembusan kepada Bupati/Walikota dan Gubernur.

Dalam perkembangan pemanfaatan limbah B3 dalam bidang jalan sudah lama dikembangkan bahkan pedoman dan spesifikasi nya sudah banyak yang disusun, seperti fly-ash, tailing, sludge oil dan lain lain, akan tetapi dalam aplikasinya masih sangat kurang.





### BAB III

# Karakteristik Limbah Slag Baja-Slag Besi

**L**imbah slack baja, yang merupakan sisa dari proses pembuatan baja, masuk dalam kategori limbah B3 atau berbahaya. Saat ini produksi slack di Indonesia baru sekitar 800 ribu ton, jika dibandingkan dengan Jepang yang mencapai 20 juta ton. Setiap ton produksi baja menghasilkan 20 persen limbah slack.

Kementerian Lingkungan Hidup menyatakan dengan tegas bahwa limbah slag baja masih termasuk dalam limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Penentuan termasuk dalam limbah B3 atau non B3 sebenarnya masih tergantung masing-masing negara. USA dan negara lainnya seperti Jepang mengatakan bahwa limbah slag baja termasuk dalam limbah khusus dan bukan limbah B3.

Kalangan Industri baja mengharapkan agar limbah

slack bisa dimanfaatkan untuk proyek infrastruktur, ketimbang dibiarkan mangkrak di gudang penyimpanan. Limbah slack harus digudangkan karena masuk dalam kategori limbah B3 atau berbahaya

Sesuai dengan peraturan yang berlaku, khususnya Peraturan Pemerintah No 85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan beracun (B3),

Pemanfaatan limbah B3 industry baja dalam bidang perkerasan jalan belum banyak dilakukan khususnya dalam bidang perkerasan jalan beton semen, begitu juga pengkajian dari aspek lingkungan hidup masih belum dilakukan khususnya kajian B3 dan karakteristik sifat racunnya pada lingkungan.

Menurutnya Indonesia masih belum mampu

mengelola limbah B3 dengan baik. Limbah slag baja yang biasanya dihasilkan oleh industri baja Indonesia masih berbentuk bongkahan. Sehingga masih diperlukan tahapan-tahapan lain sebelum diolah menjadi produk lain yang aman digunakan dan bernilai ekonomis.

Supaya tidak menimbulkan pencemaran, kalangan asosiasi baja meminta pemerintah untuk memanfaatkan limbah baja (limbah slag). Pemanfaatan ini bisa digunakan untuk proyek infrastruktur. Soalnya bila tidak dimanfaatkan limbah tersebut termasuk dalam kategori limbah balian beracun dan berbahaya (B3).

Ketua Umum Indonesian Iron and Steel Industry Association (USIA) Fazwar Bujang, yang juga Dirut Krakatau Steel, mengatakan slag merupakan residu prosesing baja hulu. Dan di negara lain limbah tersebut tidak termasuk dalam kategori B3. “Di mana-mana, di negara lain, limbah slag tidak masuk limbah berbahaya, jadi kami minta limbah slag dikeluarkan dari kategori limbah B3, karena merepotkan industri,” katanya akhir pekan lalu di Jakarta. Selain itu slag ini dapat dimanfaatkan untuk reklamasi pantai dan pengerasan jalan. Fazwar mencontohkan negara Jepang dan Korea yang telah memanfaatkan Slag untuk menguruk pantai. Dengan jumlah produksi slag 20 juta ton dari total produksi sebesar 100 juta ton per tahun.

Sementara itu berdasarkan penelitian Sri Tadjono dan Han Ay Lie Meng dosen teknik Undip mengatakan slag baja dapat dijadikan beton. Berdasarkan penelitian penggunaan slag yang berasal dari limbah itu justru menghasilkan beton yang lebih kokoh dibandingkan penggunaan kerikil kasar.

“Hasil uji tekan laboratorium kami menunjukkan peningkatan kekuatan sampai 20% di atas penggunaan bahan konvensional. Dan ini juga berarti bahwa dunia konstruksi beton tidak harus menggerus bukit atau menggali dasar sungai untuk mencari kerikil kasar sebagai bahan beton-nya,” kata Ay Lie. Slag ini harus dimanfaatkan. Soalnya limbah industri baja yang masuk dalam kategori B3 tersebut menggunung, dan terkena hujan, airnya akan mengalir sungai dan saluran irigasi. Efeknya bisa menimbulkan dampak yang luas bagi kesehatan dan lingkungan. Wahyu. Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) ini berikhtiar

menciptakan beton berkekuatan tinggi. “Kuat, murah, dan ramah lingkungan,” yaitu campuran limbah baja (slag) dan limbah batu bara (fly ash) yang didatangkan dari PLTU Paiton. Limbah baja digunakan untuk mengganti campuran kerikil pada beton, sedangkan fly ash untuk mengurangi ketergantungan pada semen. Campuran limbah baja dan limbah batu bara ini sengaja digunakan untuk meminimalkan ketergantungan beton pada sumber daya yang tidak bisa diperbarui semisal bahan pembuat semen



Gambar 1. Produksi Baja

Erlina (2007) membuat beton dengan komposisi 30 persen limbah tembaga dan 70 persen pasir yang dicampur dengan 15 persen fly ash dan 85 persen semen. Untuk elemen batu, tim ini tetap menggunakan batu kerikil. “Limbah tembaga pasir ini lebih lembut dan mampu mengisi rongga-rongga yang tidak dapat dimasuki pasir,”

## A. Sifat kimia dan fisik slag

Slag dengan bahan pengikat kapur hidrasi sudah banyak digunakan di dalam proses peleburan bijih besi dan baja, bahan slag mempunyai sifat kimia yang berbeda dengan bahan standard maka persyaratan keawetan menjadi penting. Menurut BS 1047, persyaratan keawetan dari bahan slag dilihat dari besarnya kandungan  $\text{CaO}$  dan  $\text{MgO}$  dengan perhitungan 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 perhitungan perbandingan  $\text{CaO} < 0,9 \text{ SiO}_2 + 0,6 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1,75 \text{ S}$ . Pelapukan juga dapat dihitung dari perbandingan



SiO<sub>2</sub> terhadap jumlah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau dengan perbandingan SiO<sub>2</sub> terhadap jumlah dari CaO + MgO. Untuk 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 SiO<sub>2</sub> tidak boleh lebih dari 0,75%, karena sifat dari Sulfur dan Sulfat yang sangat korosif terhadap peralatan campuran beraspal (Wisaksono, W 1998). Untuk hal tersebut di atas, persyaratan pelapukan dari bahan slag dibatasi maksimum 4% berbeda dengan pelapukan pada bahan standar maksimum 12%.

B. Komposisi kimia

Untuk melihat komposisi kimia dari agregat slag dan bahan standar dilakukan pengujian kimia sebagai berikut :

Tabel 1. Pengujian Komposisi Kimia

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 (2002 )Australian Slag Association( 2002)

C. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik agregat lokal sebagian menggunakan persyaratan agregat standar yang

baku, pengujian sifat fisik agregat slag sebagai berikut :

Tabel 2. Persyaratan agregat slag

Pengujian	Metode	Persyaratan
Berat jenis	SNI 03-1969-1990	3,5
Bulk		
SSD		
Aparent		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	maks 3
Keausan agregat dengan mesin Los Angeles, %	SNI 03-2417-1991	maks 40
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium atau Magnesium Sulfat, %	SNI 03-3407-1994	maks 12
Kelekatan agregat terhadap aspal, %	SNI 03-2439-1991	min 95
Nilai setara pasir, %	SNI 03-4428-1997	halus maks 50
Material lolos #200, %	SNI 03-4142-1996	maks 1

Spesifikasi agregat slag (PDT 04-2005-B)

Penggunaan slag sebagai lapis aus (wearing) tidak memberikan indikasi kekesatan yang tinggi (kasar atau tajam) karena slag mempunyai nilai Polishing Stone Value (PSV) 53 sedikit diatas agregat standar dengan nilai PSV 50,



## BAB IV

# Sifat Kimia dan Pemanfaatan Slag Baja

### 4.1. Agregat slag yang digunakan pada percobaan (Leksminingsih , Pusjatan)

Slag yang digunakan untuk percobaan adalah produk samping dari industri baja yang terbentuk dari kombinasi bijih besi dengan flux batu kapur. Slag berbentuk granular dengan ukuran bervariasi dari kasar sampai halus. Di Indonesia 150 ton slag dihasilkan setiap harinya oleh industri baja PT Krakatau Steel, Cilegon, Banten.

Permukaan slag yang kasar dan berlubang disebabkan terperangkapnya gas ketika slag panas mengalami proses pendinginan, lubang-lubang gas tidak saling berhubungan dan tidak bersifat porous, bila slag terbelah karena proses pemecahan, maka kekerasan tidak hilang sampai butir terkecil sekalipun, karena agregat slag

mempunyai kekerasan yang tinggi digabungkan dengan sifat tidak porous tersebut menyebabkan agregat slag baik untuk bahan perkerasan jalan. Beberapa keuntungan penggunaan slag antara lain : tahan terhadap tekanan, baik sebagai campuran perkerasan jalan maupun lapis pondasi. Pada keadaan lalu lintas berat tidak terjadi kerusakan, mempunyai daya adhesi yang tinggi terhadap aspal karena agregat slag mempunyai permukaan yang kasar, sehingga kekesatannya lebih tinggi daripada agregat standar, tahan terhadap pelapukan, karena telah mengalami pemanasan yang tinggi, dapat digunakan untuk berbagai macam konstruksi perkerasan jalan (Purna Baja Hecket, 2001)

Di banyak Negara, slag sudah banyak digunakan sebagai pengganti agregat baik untuk campuran beraspal maupun untuk beton semen atau

sebagai bahan pondasi perkerasan. Di dalam penggunaannya, slag sering dianggap sebagai agregat (aggregate like material) oleh sebab itu persyaratan fisik slag biasanya dianggap sama dengan persyaratan fisik untuk agregat. Karena slag memiliki sifat kimia yang berbeda jauh dengan agregat alam maka ada syarat tambahan lainnya untuk slag agar dapat digunakan sebagai pengganti agregat standar, persyaratan tersebut adalah keawetan (Soundness BS 1047).

Karena slag digolongkan sebagai limbah B3 maka dalam pemanfaatannya harus mengikuti UU Lingkungann Hidup No. 32 tahun 2009, bahan slag telah dinyatakan bebas B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), menurut The Federal Register Vol. 45 no. 98 tahun 1980, telah dilakukan pengujian terhadap bahan slag dengan metode EPA standard, yang menyatakan slag tidak berbahaya dengan hasil sebagai berikut : tidak mudah terbakar, mempunyai pH 7,9 (tidak korosif), tidak bersifat reaktif dan bersifat racun yaitu mengandung sianida atau sulfide, cairan pencuci slag (lechate) adalah 100 kali dibawah standar air minum (persyaratan racun adalah 10 kali dibawah persyaratan air minum).

## 4.2 Hasil Kajian Lingkungan Pemanfaatan Slag Baja Oleh PT. Krakatau Steels (2011)

### 4.2.1 Total Logam

Pemeriksaan kandungan logam berat dilakukan pada 16 parameter anorganiknya yang mengacu pada keputusan Bapedal Kep-04/Bapedal/09/1995. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Dari analisis logam berat tersebut, dapat dilihat bahwa logam yang memiliki konsentrasi yang besar jika dilakukan uji pelindian. Dengan demikian logam-logam tersebut yang akan dianalisa dalam uji pelindian proudk perkerasan jalan menggunakan slag melalui uji TCLP. Pada umumnya kandungan logam berat pada processed slag lebih besar dari pada kandungan logam berat unprocessed slag. Kandungan logam berat tersebut lebih besar dari pada kandungan logam slag pada penelitian yang dilakukan oleh Achmadi (2009).

Perbedaan kandungan logam mungkin saja terjadi karena perbedaan proses produksi dimana dalam penelitian tersebut tidak disebutkan jenis slag yang digunakan.

Tabel 3. Komposisi Logam

Parameter	Hasil Analisis (mg/kg)	
	Unproses	Proses
Arsen (As)	2.70	3.16
Barium (Ba)	154.09	224.11
Cadmium (Cd)	4.33	5.10
Chromium (Cr)	261.68	240.41
Copper (Cu)	37.31	69.41
Cobalt (Co)	21.63	25.20
Lead (Pb)	100.83	142.55
Mercury (Hg)	2.70	2.37
Molybdenum (Mo)	2.43	4.93
Nickel (Ni)	19.19	21.98
Tin (Sn)	18.65	0.27
Selenium (Se)	6.22	4.66
Silver (Ag)	30.28	34.80
Zinc (Zn)	72.18	447.01
Cianida (CN)	2.43	4.26
Fluorida (F)	114.35	135.82

PT KS:2010

### 4.2.2 Oksida Logam

Sama halnya seperti pemeriksaan logam berat, sampel limbah slag diperiksa kandungan oksida logamnya. Pemeriksaan oksida logam pada awal penelitian dibutuhkan dalam penentuan bahan pencampur pembuatan produk campuran aspal, baik sebagai pengganti agregat halus dan agregat kasar.

Menurut ASTM C-618, parameter yang sangat diperhitungkan dalam pembuatan campuran aspal adalah kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kekuatan jalan dapat dipengaruhi oleh keberadaan oksida ini karena unsure yang mengandung silikat dan aluminat mempunyai kecenderungan sifat pozzolan yang dapat mengikat agregat, sehingga dapat memperkuat perkerasan. Kandungan oksida logam dapat dilihat pada Tabel 4.



Tabel 4. Kandungan Oksida Logam Pada Limbah Slag

Parameter	Hasil Analisis	
	Unproses	Proses
SiO <sub>2</sub>	7.55	7.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.72	12.30
Fe total	31.83	24.99
FeO	22.99	21.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.96	15.76
K <sub>2</sub> O	0.21	0.19
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.19
MgO	11.08	14.01
CaO	30.19	28.02
TiO <sub>2</sub>	1.23	0.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.07
LOI	ttd	ttd

PT KS:2010

Kandungan LOI (Loss On Ignition) yang terdapat pada slag baja telah memenuhi persyaratan ASTM C-618, yaitu sebesar 6. LOI memiliki nilai rata-rata yang sama dengan kadar karbon, sehingga kadar karbon biasanya tidak diukur secara langsung (Agnes, 2005). Dengan tidak terdeteksinya nilai LOI pada sampel slag mengindikasikan bahwa sangat kecilnya kehadiran karbon dalam sampel. Dengan demikian maka dapat dianggap bahwa slag tersebut sangat stabil.

#### 4.2.3 Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Pemeriksaan TCLP dilakukan untuk melihat keterlindian dari sampel slag baja. Hasil

pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 5. Bila dibandingkan parameter logam uji TCLP antara processed slag dengan unprocessed slag, konsentrasi logam pada ekstrak TCLP processed slag lebih besar dibandingkan unprocessed slag, kecuali untuk logam Ba, B, Cr, Pb, dan Se. Namun demikian berdasarkan hasil analisa TCLP dapat dilihat bahwa semua parameter logam masih berada di bawah baku mutu.

Tabel 5. Hasil Analisis TCLP Slag

Parameter	Hasil Analisis (mg/L)		*Baku Mutu (mg/L)
	Unpro-cessed	Pro-cessed	
Arsen (As)	0.001	0.008	5
Barium (Ba)	0.951	0.812	100
Boron (B)	0.057	0.055	500
Cadmium (Cd)	0.015	0.016	1
Chromium (Cr)	0.031	0.031	5
Copper (Cu)	0.032	0.041	10
Lead (Pb)	0.084	0.055	5
Mercury (Hg)	0.003	0.004	0.2
Selenium (Se)	0.019	0.017	1
Silver (Ag)	0.075	0.091	5
Zinc (Zn)	0.001	0.044	50

\*Baku Mutu sesuai dengan PP 18/1999 jo PP 85/1999

#### 4.2.4 Uji Toksisitas (LD 50)

Uji toksisitas dilakukan untuk limbah slag, baik processed slag maupun unprocessed slag. Uji ini dilakukan untuk mengetahui nilai akut dari slag tersebut. Tabel 6. dan Tabel 7. menunjukkan hasil uji toksisitas LD50 untuk limbah slag.

Tabel 6. Data Angka Kematian selama Percobaan pada Mencit Jantan dan Betina untuk Unprocessed Slag

Dosis (mg/kg Berat Badan)	Jantan					Betina				
	0	24	48	72	96	0	24	48	72	96
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel. 7. Data Angka Kematian selama Percobaan pada Mencit Jantan dan Betina untuk Processed Slag

Dosis (mg/kg Berat Badan)	Jantan					Betina				
	0	24	48	72	96	0	24	48	72	96
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PT KS:2010

Tabel. 6. dan Tabel 7. menunjukkan bahwa hasil observasi selama 0 – 96 jam menunjukkan bahwa angka kematian tidak ditemukan dalam setiap pemberian dosis processed slag dan unprocessed slag (5; 50; 500; dan 15.000 mg/kg BW), baik pada mencit jantan maupun pada mencit betina. Berdasarkan hasil uji toksisitas LD50 tersebut, dapat disimpulkan bahwa baik processed slag maupun unprocessed slag bersifat non-akut.

#### 4.2.5 pH

Berdasarkan pengukuran pH pada kedua sampel dapat dilihat bahwa sampel unprocessed slag memiliki pH 11,7 dan processed slag memiliki pH 10,8. Hal ini menunjukkan bahwa sampel ini berada dalam kondisi basa, karena kehadiran oksida-oksida logam yang bereaksi dengan air menghasilkan ion OH<sup>-</sup>.

### 4.3 Evaluasi Pencemaran Lingkungan Produk Perkerasan Jalan Menggunakan Slag

#### 4.3.1 Pemanfaatan Slag Untuk Agregat Campuran Aspal (AC wearing)

Dari hasil optimum pencampuran slag-aspal yang telah didapatkan sebelumnya, sampel produk perkerasan jalan kemudian di analisis karakteristiknya. Uji yang dilakukan diantaranya :

##### 1. Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Analisis TCLP dilakukan untuk melihat pengaruh proses pengikatan slag dengan aspal terhadap keterlindian logam beratnya. Pengikatan slag dengan aspal diharapkan bahwa logam berat yang

terlindian dapat dicegah seminimal mungkin. Pada uji ini, produk perkerasan (AC wearing) diagitasi selama 18 jam dengan pH air pelindi 4,85. Uji TCLP dilakukan pada processed slag dan unprocessed slag yang telah dicampur dengan aspal. Parameter yang diukur adalah Ba, Cr, Cu, Pb, Ag, Zn, dan B berdasarkan hasil uji logam berat pada saat awal penelitian yang memiliki konsentrasi yang cukup tinggi. Hasil Uji TCLP dapat dilihat pada Tabel. 8

Tabel 8. Analisis Pengujian TCLP

Parameter	Hasil Analisis (mg/L)		*Baku Mutu (mg/L)
	UP Slag + Aspal	P Slag + Aspal	
Barium (Ba)	1,260	1,320	100
Chromium (Cr)	0,001	0,001	5
Copper (Cu)	0,020	0,023	10
Lead (Pb)	0,017	0,339	5
Silver (Ag)	0,001	0,001	5
Zinc (Zn)	0,009	0,035	50
Boron (B)	0,315	0,425	500

PT KS:2010

Umumnya konsentrasi logam berat pada ekstrak TCLP produk perkerasan menggunakan processed slag lebih besar dari pada produk unprocessed slag, kecuali untuk logam Cr dan Ag. Dapat dilihat juga bahwa konsentrasi logam berat kedua produk perkerasan tersebut jauh di bawah baku mutu TCLP menurut PP 18/1999 jo PP 85/1999.

##### 2. Uji Pelindian Dinamis

Pelindian dinamis dilakukan terhadap empat benda uji, diantaranya dua produk perkerasan (AC wearing) yang berasal dari processed slag dan unprocessed slag dan dua jenis slag tersebut slag yang belum dijadikan produk perkerasan jalan.

Pelindian ini dilakukan dengan cara mensirkulasikan air dengan pH asam (pH = 4,85), yang merupakan simulasi air hujan, terhadap benda uji. Dari hasil pelindian tersebut kemudian diukur parameter

logam berat yang terkandung dalam air lindi. Pengukuran pada rentang waktu 24 jam, 48 jam dan 96 jam. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 9, tabel 10. dan tabel 11.

Tabel 9. Hasil Perlindian selama 24 jam

Parameter	Hasil Analisa (mg/L) sampel 24 jam				Baku Mutu (mg/L)
	P Slag+ aspal	UP Slag + aspal	P Slag	UP Slag	
Ba	0,61	0,56	1,04	0,89	100
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	5
Cu	0,028	0,056	0,034	0,040	10
Pb	0,242	0,299	0,562	0,511	5
Zn	0,436	0,587	0,675	0,457	50
B	0,114	0,166	0,222	0,116	500
Fe	5,28	6,11	38,11	62,72	-
Ag	0,001	0,001	0,001	0,001	5

PT KS:2010

Hasil pengukuran logam berat untuk rentang waktu 24 jam (tabel 9), menunjukkan bahwa pada umumnya kandungan logam pada produk perkerasan jalan (AC wearing), baik dari slag processed maupun dari unprocessed slag, lebih rendah dibandingkan slag yang belum mengalami pengolahan. Dengan

kata lain bahwa dengan pemanfaatan slag menjadi produk perkerasan jalan (AC wearing) dapat mengurangi keterlindian logam berat dalam slag. Bila semua hasil pengukuran logam dibandingkan dengan baku mutu TCLP, terlihat bahwa semuanya jauh dibawah baku mutu TCLP.

Tabel 10. Hasil Pelindian selama 48 jam

Parameter	Hasil Analisa (mg/L) sampel 24 jam				Baku Mutu (mg/L)
	P Slag+ aspal	UP Slag + aspal	P Slag	UP Slag	
Ba	1,10	1,15	0,87	0,94	100
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	5
Cu	0,034	0,046	0,026	0,032	10
Pb	0,294	0,126	0,396	0,424	5
Zn	0,567	0,772	0,669	0,505	50
B	0,121	0,136	0,148	0,158	500
Fe	8,12	10,77	39,43	52,35	-
Ag	0,001	0,001	0,001	0,001	5

PT KS:2010

Hasil Kajian pemanfaatan slag sebagai agregat campuran aspal dan road base : kelayakan teknis dan dampak lingkungan.

Hasil pelindian untuk rentang waktu 48 jam dapat dilihat pada tabel 10. umumnya konsentrasi logam pada produk perkerasan (AC wearing) menggunakan unprocessed slag lebih kecil dibandingkan processed slag murni, kecuali untuk

parameter logam Ba dan Cu. Begitu juga untuk AC wearing menggunakan unprocessed slag, konsentrasi logam dalam lindinya lebih rendah dibandingkan dengan unprocessed slag murni, kecuali untuk parameter logam Ba, Cu, dan Zn. Secara keseluruhan, hasil pengukuran konsentrasi logam dalam ekstrak TCLP tidak melebihi baku mutu TCLP.

Tabel 11. Hasil Pelindian selama 96 jam

Parameter	Hasil Analisa (mg/L) sampel 24 jam				Baku Mutu (mg/L)
	P Slag+ aspal	UP Slag + aspal	P Slag	UP Slag	
Ba	0,63	0,87	1,20	1,39	100
Cr	0,001	0,001	0,001	0,001	5
Cu	0,035	0,048	0,027	0,031	10
Pb	0,207	0,332	0,560	0,685	5
Zn	0,774	1,012	0,670	0,552	50
B	0,111	0,114	0,217	0,119	500
Fe	10,04	16,43	13,93	17,69	-
Ag	0,001	0,001	0,001	0,001	5

PT KS:2010

Konsentrasi logam berat dalam ekstra TCLP untuk rentang waktu 96 jam ditampilkan pada tabel 11. Konsentrasi logam berat untuk rentang waktu pelindian 96 jam tidak jauh berbeda dengan rentang waktu 24 jam dan 48 jam, kecuali untuk besi, dimana secara visual juga terlihat bahwa dalam rentang waktu 96 jam, banyak besi yang mengendap. Hal ini ditandai dengan banyaknya endapan coklat pada rentang waktu tersebut.

### 3. Progressive Leaching Test

Progressive leaching test merupakan uji keterlindian yang dilakukan secara bertahap menggunakan prosedur yang sama dengan TCLP. Pada studi pemanfaatan slag untuk material perkerasan jalan

ini dilakukan 3 kali pengulangan uji pelindian sesuai dengan uji TCLP untuk sampel yang sama. Untuk setiap tahapan sampel dikeringkan terlebih dahulu sebelum dilakukan uji pelindian tahap selanjutnya. Hal tersebut bertujuan untuk simulasi ketahanan produk terhadap kondisi kering (panas) dan basah. Hasil progressive leaching test untuk processed slag dan unprocessed slag ditampilkan pada tabel 12. dan tabel 13. secara berurutan. Tabel 4.14 menunjukkan bahwa kandungan logam Cu dan Ag pada processed slag meningkat setiap tahapnya. Untuk logam Ba terjadi penurunan konsentrasi setiap tahapnya, sedangkan untuk kandungan logam B, Cr, Pb, Zn, dan Fe konsentrasinya lebih fluktuatif

Tabel 12. Hasil Analisis Progressive Leaching untuk Processed slag

Parameter	Hasil Analisa (mg/L)					
	tahap ke 1		tahap ke 2		tahap ke 3	
	P slag	P slag+ aspal	P slag	P slag + aspal	P slag	P Slag + aspal
Ba	0,009	0,007	0,008	0,009	0,006	0,007
Cr	0,211	0,231	0,174	0,323	0,255	0,192
Cu	0,152	0,173	0,231	0,201	0,152	0,191
Pb	0,042	0,075	0,065	0,122	0,081	0,094
Zn	0,047	0,037	1,533	0,124	0,050	0,166
B	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001
Fe	1,314	0,361	0,441	1,315	0,443	0,411
Ag	84,93	3,46	71,35	68,82	39,59	0,944

PT KS:2010

Hasil progressive leaching test untuk unprocessed slag, seperti ditampilkan pada tabel 13. tidak jauh berbeda dengan hasil progressive leaching test untuk processed slag. Karena prosedur yang digunakan setiap sama dengan prosedur TCLP,

maka jika dibandingkan dengan baku mutu TCLP, konsentrasi logam yang terdapat pada lindi untuk semua tahap pelindian jauh lebih kecil dibandingkan dengan baku mutu TCLP.

Tabel 13. Hasil Analisis Progresif Leaching Test Untuk Unprocessed Slag

Parameter	Hasil Analisa (mg/L)					
	tahap ke 1		tahap ke 2		tahap ke 3	
	UP slag	UPslag+ aspal	UP slag	UP slag + aspal	UP slag	UP Slag + aspal
Barium (Ba)	0,011	0,005	0,007	0,009	0,007	0,004
Boron (B)	0,115	0,237	0,184	0,323	0,098	0,195
Chromium (Cr)	0,162	0,154	0,136	0,119	0,132	0,081
Copper (Cu)	0,112	0,025	0,045	0,035	0,075	0,070
Lead (Pb)	0,036	0,032	0,134	0,177	0,121	0,149
Silver (Ag)	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Zinc (Zn)	0,819	0,268	0,411	0,982	0,607	0,280
Besi (Fe)	90,91	12,91	59,52	41,13	40,79	5,541

PT KS:2010

#### 4. Uji Toksisitas (LD50)

Uji toksisitas LD50 digunakan untuk mengetahui toksisitas, nilai toksisitas akut dari suatu material. Selain dilakukan pada slag, juga dilakukan

pada produk perkerasan jalan dengan aspal yang direkomendasikan (AC wearing).

Tabel 14 dan tabel 15 menunjukkan hasil uji toksisitas untuk produk perkerasan

Tabel 14 Data angka kematian selama percobaan pada mencit jantan dan betina untuk produk AC wearing dan Unprocessed slag

Dosis (mg/Kg berat badan)	Jantan					Betina				
	0	24	48	72	96	0	24	48	72	96
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PT KS:2010

Tabel 15 Data angka kematian selama percobaan pada mencit jantan dan betina untuk produk AC wearing dan processed slag

No	Dosis (mg/Kg berat badan)	Jantan					Betina				
		0	24	48	72	96	0	24	48	72	96
1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	15000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PT KS:2010

Tabel 14 dan tabel 15 memperlihatkan bahwa produk perkerasan jalan (AC wearing dari processed slag dan unprocessed slag yang dicampur dengan aspal tidak menunjukkan toksik akut. Hasil observasi selama 0-96 jam menunjukkan bahwa angka kematian tidak ditemukan dalam setiap pemberian dosis (5; 50; 500; 5000; dan 15,000 mg/Kg BW), baik pada mencit jantan maupun pada mencit betina, sehingga berdasarkan hasil uji toksisitas LD50 tersebut, dapat disimpulkan bahwa kedua produk perkerasan bersifat non-akut. Penambahan aspal pada slag untuk dijadikan sebagai AC wearing tidak meningkatkan toksisitas slag tersebut..

#### 4.3.2. Evaluasi Potensi Pencemaran dari Pemanfaatan Road Base

Evaluasi potensi pencemaran slag sebagai road base hanya didasarkan pada hasil uji karakteristik di laboratorium seperti sudah dibahas sebelumnya bahwa konsentrasi logam dalam ekstrak TCLP jauh berada dibawah baku mutu TCLP. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa keterlindian logam dalam slag sangat kecil mengingat bahwa slag telah mengalami pemanasan sampai 1600°C, sehingga kemungkinan sebagian besar logam berat terperangkap dalam struktur silikat yang sangat stabil. Uji pelindian dinamis dan progressive leaching test menunjukkan bahwa slag, baik unprocessed slag maupun processed slag, sangat stabil dimana logam berat yang terkandung didalamnya sangat susah untuk terlindian. Uji toksisitas akut dengan LD50 yang dilakukan terhadap mencit menunjukkan bahwa processed slag dan unprocessed slag dari PT. Krakatau Steel bukan merupakan material yang mempunyai toksisitas akut.

Mengingat slag tersebut merupakan material

yang stabil dan potensi pencemarannya terhadap lingkungan bisa dikatakan kecil, maka slag ini bisa dipertimbangkan sebagai material alternative untuk agregat road base seandainya uji lapangan menunjukkan bahwa slag ini memenuhi criteria standar road base.

#### 4.4. Hasil Studi Pemanfaatan slag sebagai Road Base Skala lapangan PT KS.

Monitoring dilakukan terhadap road base yang telah dihampar di lapangan. Monitoring yang dilakukan diantaranya analisa CBR dan kandungan logam berat pada air run off.

Tabel 16 Hasil Pengujian CBR

Titik	Hasil Uji Lapangan	standar	Keterangan
Titik 1	75,3%	>60%	ok
titik 2	73,46%	>60%	ok
Titik 3	47,1%	>60%	no
Titik 4	66,8%	>60%	ok

PT KS:2010

Dari tabel 16 dapat dilihat bahwa titik pengujian 1,2 dan 4 semuanya memenuhi syarat. Namun, pada titik 3 belum memenuhi syarat, karena kurangnya pemadatan pada saat pelaksanaan penghamparan road base.

Oleh karena itu rekomendasi yang disarankan adalah harus dipadatkan kembali sampai mencapai nilai CBR yang diharapkan.

Tabel 17 menunjukkan hasil monitoring logam pada run off. dari tabel 17 menunjukkan bahwa logam-logam pada air run off berada dibawah baku mutu.

Tabel 17 Hasil monitoring penghamparan Road base

Parameter	Hasil Analisa				Baku mutu	Satuan
	1/2/11	2/2/11	14/2/11	17/2/11		
Temperatur	27	27	28	28	-	oC
pH	9	9	8,4	8,4	-	-
Tembaga (Cu)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	10	mg/L
Seng (zn)	<0,03	0,17	<0,03	0,04	50	mg/L
Krom total (Cr)	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	5	mg/L
Timbal (Pb)	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	5	mg/L
Cadmium (Cd)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1	mg/L
Nitrat-nitrit (NO <sub>3</sub> dan NO <sub>2</sub> )	<0,12	<0,12	1,86	<0,12	1000	mg/L
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	100	mg/L
Sianida (CN)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	20	mg/L

PP18/1999 jo 85/1999

#### 4.5. Kajian Lingkungan Slag Baja Puslitbang Jalan

##### 1) Total Logam

Hasil pengujian total logam dapat dilihat pada tabel 18 , kandungan total logam dari Slag Bajal untuk parameter Chromium (Cr) sekitar 485,42 mg/Kg, Copper (Cu) sekitar 163,41 mg/Kg dan zinc (Zn) sekitar 593,29 mg/Kg , menurut keputusan **no. 04/Bapedal/09/1995** yang sudah melebihi kadar

maksimum kolom B, sementara untuk parameter lain relative masih di bawah kadar maksimum . Kandungan parameter lain yang perlu diperhatikan adalah kandungan sulfat yang cukup tinggi 855,33 mg/Kg sample. Kandungan sulfat ini untuk kualitas air sangat berpengaruh karena sifatnya sebagai asam yang kuat, sementara itu untuk bidang konstruksi diperkirakan akan mempengaruhi terhadap kekuatan struktur (perlu kajian)

Tabel 18 Kandungan Total Logam dalam Slag Baja

Parameter	Metode	Sampel	Kadar Maksimum	
			Kep. 04/Bapedal/09/1995	
			Kolom A	Kolom B
Arsen (As)	AAS/Hydride	4,01	300	30
Barium (Ba)	AAS	181,30	-	-
Cadmium (Cd)	AAS	6,94	50	5
Chromium (Cr)	AAS	485,42	2500	250
Copper (Cu)	AAS	163,41	1000	100
Cobalt (Co)	AAS	2,94	500	50
Lead (Pb)	AAS	64,35	3000	300
Mercury (Hg)	AAS/Hg Analyzer	0,013	20	2
Molybdenum (Mo)	AAS	<0,001	400	50
Nickel (Ni)	AAS	1,60	1000	100
Tin (Sn)	AAS	<0,001	500	50
Selenium (Se)	AAS	2.40	100	10
Silver (Ag)	AAS	<0,001	-	-
Zinc (Zn)	AAS	593,29	5000	500
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	AAS	855,33	-	-

Satuan: mg/Kg dry weight

PUSJATAN 2011



Memperhatikan kandungan maksimum dari total logam slag baja, maka sesuai dengan aturan yang berlaku, maka system pengelolaan dan rancang bangun/desain bagi kategori II landfill yang digunakan untuk tempat penimbunan limbah slag baja, adalah:

#### Kategori II (Secure Landfill Single Liner)

Rancangan bangun minimum untuk Kategori II (secure landfill single liner) adalah sebagai berikut : System pelapisan dasar landfill dari bawah ke atas terdiri dari komponen-komponen berikut :

##### 1) Lapisan Dasar ( Subbase)

Sebelum dilakukan konstruksi pelapisan dasar tersebut harus dilakukan pekerjaan penyiapan lahan diantaranya :

- Pengupasan tanah yang tidak kohesip
- Perbaikan kondisi tanah (perataan, pemadatan, dan sebagainya)
- Pemenuhan konstruksi daya dukung muatan (bearing capacity) yang diperlukan untuk menopang muatan (landfill dan limbahnya) di atasnya.

Lapisan dasar (subbase) berupa tanah lempung yang dipadatkan ulang yang memiliki konduktivitas hidraulik jenuh maksimum  $1 \times 10^{-9}$  m/detik di atas lapisan tanah setempat.

Ketebalan minimum lapisan dasar adalah satu meter. Lapisan setebal satu meter tersebut terdiri dari lapisan-lapisan tipis (15-20 cm) dimana setiap lapisan dipadatkan untuk mendapatkan permeabilitas (konduktivitas hidraulik) dan daya dukung yang dibutuhkan untuk menopang lapisan di atasnya, limbah B3 yang ditimbun, dan lapisan penutup;

##### o Lapisan untuk Sistem Pendeteksi Kebocoran (Leak Detection Sistem)

System pendeteksi Kebocoran dipasang di atas lapisan dasar (subbase) dan terdiri dari geonet HDPE. Geonet HDPE tersebut harus memiliki transmisivitas planar sama dengan atau lebih besar dari transmisivitas planar bahan/tanah butiran setebal 30 cm dengan konduktivitas hidraulik jenuh  $1 \times 10^{-4}$  m/detik. Komponen teratas dari system pendeteksi kebocoran ini adalah "non woven geotextile" yang dilekatkan pada geonet pada proses pembuatannya.

System Pendeteksi Kebocoran harus dirancang sedemikian rupa dengan kemiringan tertentu menuju bak pengumpul, sehingga timbunan lindi akan terkumpul. Timbunan lindi tersebut dialirkan dengan menggunakan pompa submersible menuju

ke tangki penampung atau pengumpulan lindi;

##### o Lapisan Geomembran

Lapisan dasar dilapisi dengan lapisan geomembran berupa lapisan sintetik yang terbuat dari HDPE (High Density Polyethylene) dengan ketebalan minimum 1,5 – 2,0 mm (60 – 80 mil)

Semua lapisan sintetik pada peraturan ini harus dipasang sesuai dengan American Society of Testing Materials (ASTM) D308 – 786 atau yang setara. Lapisan sintetik ini harus dirancang agar tahan terhadap semua tekanan selama instalasi, konstruksi, operasi dan penutup landfill.

##### o Lapisan Tanah Penghalang (Barrier Soil Liner)

Lapisan tanah penghalang berupa tanah liat yang didapatkan hingga berpermeabilitas  $10^{-9}$  m/detik dengan ketebalan minimum 30 cm atau geosynthetic clay liner (GCL) dengan tebal minimum 6 mm. GCL tersebut berupa bentonit yang diselembungi oleh lapisan Geotekstil. Jenis-jenis GCL adalah Claymax, Bentomat, Bentofix, atau yang sejenis.

##### o Sistim Pengumpulan dan Pemindahan Lindi (SPPL)

SPPL pada dasarnya landfill terdiri sekurang-kurangnya 30 cm bahan/tanah butiran yang memiliki konduktivitas hidraulik minimum  $1 \times 10^{-4}$  m/detik. Pada dinding landfill digunakan geonet sebagai SPPL-nya. Transmisivitas geonet tersebut sama dengan atau lebih besar dari transmisivitas planar 30 cm bahan/tanah butiran dengan konduktivitas hidraulik jenuh minimum  $1 \times 10^{-4}$  m/detik.

Untuk meminimumkan terjadi penyumbatan pada SPPL, harus dipasang geotekstil pada bagian atas SPPL. SPPL harus mempunyai kemiringan sedemikian rupa sehingga timbunan lindi akan terkumpul dan dapat dipindahkan ke tangki penampungan penampung/pengumpul lindi;

##### o Lapisan Pelindung (Operation Cover)

Sistim pengumpulan lindi dilapisi Lapisan Pelindung Selama Operasi (LPSO) dengan ketebalan minimum 30 cm, dirancang untuk mencegah kerusakan komponen pelapisan dasar landfill selama pelapisan limbah di landfill. LPSO berupa tanah setempat atau tanah dari tempat yang lain yang tidak mengandung material tajam. LPSO dipasang pada dasar landfill selama konstruksi awal. Lapisan pelindung tambahan akan dipasang pada dinding sel selama masa aktif sel landfill.



## 2) Uji TCLP

Hasil Uji TCLP Slag Baja yang disampaikan dalam Tabel 19, memberikan gambaran untuk semua

kandungan logam berat masih jauh di bawah baku mutu standar Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah nomor 85 tahun 1999.

Tabel 19 Uji TCLP Slag Baja

Parameter	Metode	TCLP (mg/L)		
		Sample	PP 18/99 jo PP 85/99	USEPA
Arsen (As)	AAS/Hydride	0,013	5	5
Barium (Ba)	AAS	1,001	100	100
Boron (B)	AAS	0,144	500	-
Cadmium (Cd)	AAS	0,022	1	1
Chromium (Cr)	AAS	0,031	5	5
Copper (Cu)	AAS	0,011	10	-
Lead (Pb)	AAS	0,599	5	5
Mercury (Hg)	AAS/Hg Analyzer	0,00012	0,2	0,2
Selenium (Se)	AAS	0,008	1	1
Silver (Ag)	AAS	<0,001	5	5
Zinc (Zn)	AAS	0,923	50	-

Analisa : TCLP Glass Jar, USEPA SW 846 Method 1311

PUSJATAN 2011

## 2) TCLP Marshall (Standar)

Hasil Uji TCLP Marshall (Campuran Standar tanpa slag Baja) yang disampaikan dalam tabel 20, memberikan gambaran untuk semua kandungan

logam berat masih jauh di bawah baku mutu standar Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah nomor 85 tahun 1999. Sementara pH dari campuran perkerasan standar adalah sekitar 8,53

Tabel 20 Uji TCLP Marshall (Standar)

Parameter	Metode	TCLP (mg/L)		
		Sample	PP 18/99 jo PP 85/99	USEPA
Arsen (As)	AAS/Hydride	<0,001	5	5
Barium (Ba)	AAS	0,166	100	100
Boron (B)	AAS	0,231	500	-
Cadmium (Cd)	AAS	<0,001	1	1
Chromium (Cr)	AAS	0,062	5	5
Copper (Cu)	AAS	0,047	10	-
Lead (Pb)	AAS	<0,001	5	5
Mercury (Hg)	AAS/Hg Analyzer	<0,00001	0,2	0,2
Selenium (Se)	AAS	<0,001	1	1
Silver (Ag)	AAS	0,001	5	5
Zinc (Zn)	AAS	0,111	50	-
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	AAS	1,012	-	-
pH		8,53		

PUSJATAN 2011



Gambar 2. Limbah Slag Baja

### 3) TCLP Marshall (Campuran Slag Baja)

Hasil Uji TCLP Marshall (Campuran Slag Baja) yang disampaikan dalam Tabel 21, memberikan gambaran untuk semua kandungan logam berat masih jauh di bawah baku mutu standar Lingkungan

Hidup Peraturan Pemerintah nomor 85 tahun 1999. Sementara pH dari campuran 9,62, sedangkan perkerasan standar adalah sekitar 8,53 sehingga relative lebih basa.

Tabel 21 Uji TCLP Marshall (Campuran Slag Baja)

Parameter	Metode	TCLP (mg/L)		
		Sample	PP 18/99 jo PP 85/99	USEPA
Arsen (As)	AAS/Hydride	<0,001	5	5
Barium (Ba)	AAS	0,256	100	100
Boron (B)	AAS	0,261	500	-
Cadmium (Cd)	AAS	0,012	1	1
Chromium (Cr)	AAS	0,247	5	5
Copper (Cu)	AAS	0,040	10	-
Lead (Pb)	AAS	0,102	5	5
Mercury (Hg)	AAS/Hg Analyzer	<0,00001	0,2	0,2
Selenium (Se)	AAS	<0,001	1	1
Silver (Ag)	AAS	<0,001	5	5
Zinc (Zn)	AAS	1,057	50	-
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	AAS	0,877	-	-
pH :		9,62		

PUSJATAN 2011

#### 4.6. Campuran Beraspal Menggunakan Agregat Slag

Setelah melalui percobaan di laboratorium dilanjutkan dengan percobaan di lapangan. Penggunaan agregat slag dari PT Krakatau Steel untuk campuran beraspal.

Campuran beraspal dapat seluruhnya terdiri dari agregat slag (100%) dari kasar sampai halus, sehingga kepadatan yang diperoleh menjadi tinggi, ini akan menjadi kendala di lapangan dimana akan

mendapatkan tonase yang sama tetapi volume mengecil. Untuk menurunkan nilai kepadatan yang tinggi  $3,035 \text{ t/m}^3$ , maka dilakukan pencampuran agregat kasar slag ditambah agregat standar halus (campuran 1) dimana kepadatan akan turun menjadi  $2,480 \text{ t/m}^3$  cara yang kedua yaitu agregat slag kasar dan halus disubstitusi dengan pasir (campuran 2), akan mendapatkan kepadatan  $2,670 \text{ t/m}^3$ .

Untuk melihat sifat campuran beraspal menggunakan agregat slag sebagai berikut :

Tabel 22. Hasil Pengujian Campuran Beraspal Menggunakan Agregat Slag

Pengujian	Hasil				Persyaratan
	Standar	Slag	Camp 1	Camp 2	
Ka.Optimum, %	6,5	6,8	6,4	7,0	-
Kepadatan, gr/cc	2,340	2,865	2,525	2,700	-
VMA, %	17,45	20,89	18,59	20,63	>16
VFB, %	78,23	77,98	81,83	75,22	>65
VIM PRD, %	3,80	4,63	3,38	5,0	3 – 5
Stabilitas, kg	1383	1527,5	1027,6	1138,5	>800
Kelelahan, mm	3,37	3,73	3,50	4,07	>2
Hasil bagi Marshall, Kg/mm	411,1	409,5	293,6	254,9	200 – 500
Stabilitas sisa, %	82,3	86,5	79,5	82,1	>75
Stabilitas dinamis, lintasan/menit	692,3	1802,1	2520	1875	-
Modulus Resilient					
-25°C	3915	3249	4203	2780	-
-35°C	1541	1458	1953	794	-
-45°C	1051	891	794	524	-

Laksminingsih 2002

Percobaan lapangan dilakukan pada jalan Cileunyi dengan LHR (Total Kumulatif ESA Thn 2010 adalah 5.640.555) diperbandingan antara campuran 1 dan campuran 2, sampai saat ini masih dalam keadaan baik. Perkerasan slag mempunyai warna lebih hitam daripada perkerasan standar. Campuran 1 mempunyai modulus lebih tinggi daripada campuran 2, campuran yang mempunyai modulus lebih tinggi diletakan pada jalur lalu lintas lambat, diharapkan dapat menahan lendutan dari kendaraan yang sering berhenti (angkutan kota) dan campuran yang mempunyai modulus rendah

pada jalur cepat sehingga dapat dilalui kendaraan berat dengan waktu pembebanan yang cepat.

##### Pengamatan lapangan

Pada pengamatan lendutan dengan alat FWD umur 1 tahun, lendutan campuran 2 (slag + pasir) lebih tinggi dari campuran 1 (slag + standar), sehingga modulus campuran 1 akan lebih tinggi dari modulus campuran 2. Lendutan masih memenuhi persyaratan dan modulus masih memenuhi persyaratan, tidak terjadi retak, kekesatan > 55 menurut alat uji British Pendulum Number (BPN).



Gambar 3. Pemanfaatan skala penuh Slag Baja Lokasi PT. KS



Gambar 4. Pemanfaatan slag baja Lokasi PT KS

#### 4.7 Pemanfaatan slag baja untuk Beton

Slag adalah limbah besi dan baja yang berbentuk bongkahan-bongkahan kecil yang secara fisik menyerupai agregat kasar yang diperoleh dari hasil samping pembuatan baja dengan tanur tinggi. Penelitian mengenai pemanfaatan potensi slag yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa kuat tekan beton slag meningkat seiring dengan penambahan limbah padat (slag) dalam beton. Sifat mekanis dan karakteristik beton yang menggunakan agregat kasar berupa slag baja tersebut dengan menggunakan bahan tambah mineral (additive) berupa silicafume membuktikan adanya pengaruh yang signifikan terhadap perilaku tegangan-tegangan dalam poisson's ratio pada beton split dan beton slag.

Beton adalah bahan bangunan yang tersusun oleh agregat (pasir + batu), semen dan air (bisa ditambah bahan lain additive atau admixture). Untuk membuat beton bermutu tinggi ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu :

- 1) Material
- 2) Proporsi campuran
- 3) Pengerjaan

Dari ketiga faktor tersebut material merupakan sumber daya alam yang lama kelamaan akan habis dan tidak dapat diperbaharui, permasalahan inilah yang akan dicari alternatif penggantinya. Alternatif pengganti material digunakan slag (limbah padat).

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan oleh industri peleburan baja salah satunya berupa limbah slag yang secara fisik menyerupai agregat kasar. Seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan penghasil limbah slag mencari solusi pemanfaatan limbah slag tersebut. Berdasarkan penelitian sebelumnya limbah slag dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam bahan konstruksi dan campuran perkerasan aspal.

Pada peleburan Baja, biji besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, delomite atau kapur. Pembuatan baja dimulai dengan menghilangkan ion-ion pengotor baja, diantaranya alumunium, silikon dan fosfor. Untuk menghilangkan ion-ion pengotor tersebut, diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium, alumunium, silikon, dan fosfor membentuk slag yang bereaksi pada temperatur 1600 °C dan membentuk cairan, bila cairan ini didinginkan maka akan terjadi kristal, dapat digunakan sebagai campuran semen dan dapat juga sebagai pengganti agregat.

Keuntungan penggunaan limbah padat (slag) dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton



- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- Mengurangi serangan alkali-silika
- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
- Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- Mengurangi porositas dan serangan klorida

Faktor-faktor yang menentukan sifat penyemenan dalam slag adalah komposisi kimia, konsentrasi alkali dan reaksi terhadap sistem, kandungan kaca pada slag, kehalusan dan temperatur yang ditimbulkan selama proses hidrasi berlangsung.



Gambar 5. Limbah Slag Baja dari Industri Baja



Gambar 6. Agregat Slag Baja Setelah melalui tahap penumbukan

## BAB V

# Penutup

**M**emperhatikan kandungan logam maksimum dari slag baja, maka limbah slag baja, pengelolaan tempat penimbunannya di landfill kategori II (Secure Landfill Single Liner),

Hasil Uji TCLP slag baja, untuk semua kandungan logam berat masih di bawah baku mutu standar Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah nomor 85 tahun 1999,. Uji TCLP ini memberikan gambaran kemungkinan terburuk terjadinya perliindian limbah yang dibuang pada lahan terbuka, (PP 85/1999).

Sementara pH dari campuran dengan slag baja relative lebih basa.  $> 8$ .

Secara Peraturan Lingkungan (PP 85 tahun 1999) hasil uji lingkungan Slag Baja masih dikategorikan tidak berbahaya (*non hazardous materials*)

Rekomendasi pemanfaatan Bahan limbah slag baja untuk Bidang Jalan , memperhatikan hasil kajian aspek Lingkungan, dengan pengujian laboratorium kandungan kimia, uji lindi dalam kondisi terburuk (uji TCLP) yang memberikan gambaran, masih dibawah baku mutu dan dikategorikan tidak berbahaya, sehingga layak dari aspek lingkungan atau dapat digunakan dengan syarat dalam pelaksanaanya dilakukan upaya-upaya pengelolaan lingkungan hidup sekitar lokasi kegiatan, diantaranya: Upaya-upaya lingkungan hidup yang harus dilakukan dalam pelaksanaan konstruksi adalah :

- Penyimpanan bahan sludge oil dan slag baja dilapangan harus terlindung dari hujan.
- Dalam pelaksanaan disarankan disiapkan system drainase sementara, sehingga bila terjadi kondisi yang tidak diharapkan (hujan), run-off dapat dikelola.
- System drainase yang baik perlu disiapkan dalam perencanaan dan aplikasi konstruksi jalan yang menggunakan sludge oil dan slag baja, (tata cara perencanaan drainase permukaan jalan SNI 03-2403-1991)
- Dalam aplikasinya perlu disiapkan sumur pantau atau bak pantau, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas air.



Gambar 7. Bak Pantau



Gambar 8. Bak Pantau



Gambar 9. Penempatan Bak Pantau

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) PT KRAKATAU STEELS (PT KS), Kajian Pemanfaatan Slag Baja untuk Perkerasan Jalan di Lingkungan PT KS, 2010.
- 2) Leksminingsih, Kajian Pemanfaatan slag Baja untuk perkerasan jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan , 2002.
- 3) Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kajian Lingkungan Pemanfaatan logam berat B3 untuk Bidang Jalan.

