

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan YME atas limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian di Laboratorium Bahan dan Konstruksi serta Laporan Tugas Akhir dengan judul “Penelitian Pemanfaatan Limbah Padat (*slag*) Sebagai Agregat Kasar pada Beton.”

Pada kesempatan ini, penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami baik itu berupa tenaga, pemikiran, maupun biaya dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan ini, yaitu kepada :

- Bapak Ir. Bambang Pudjianto, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Bapak Ir. Arif Hidayat, MS. selaku Ketua Bidang Akademis Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Bapak Ilham Nurhuda, ST,MT. selaku dosen wali
- Ibu Ir. Han Ay Lie, MEng, selaku dosen pembimbing I
- Bapak Ir. Syafrudin, CES, MT selaku dosen pembimbing II
- Bapak Ali, Bapak Pardi, dan Mas Bowo selaku Laboran pada Laboratorium Bahan dan Konstruksi
- Ir. Spto Cahyono, selaku pihak Bapedalda yang banyak memberikan bimbingan
- Pihak PT. Inti General Yaja Steel, Semarang
- Seluruh Civitas Akademika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang tidak dapat kami sebut satu persatu.

Penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi pengembangan ilmu pengetahuan.

Demikianlah laporan ini kami susun semoga dapat memberikan manfaat yang positif bagi semua pihak.

Semarang, Agustus 2006

Penyusun

ABSTRAKSI

Kekhawatiran terhadap isu lingkungan sudah berkembang sejak dua dekade terakhir. Limbah atau produk sampingan dari industri konstruksi adalah salah satu topic utama yang tidak hanya diperhatikan oleh ahli lingkungan tetapi juga oleh subyek yang berhubungan langsung atau tak langsung dengan industri konstruksi. PT. Inti General Yaja Steel Semarang, sebuah industri pengolahan baja yang memproduksi macam-macam baja dari baja bekas mempunyai produk sampingan berupa limbah padat yang disebut *slag*. *Slag* tersebut dihasilkan dari proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya dan dapat mencapai 10 – 15 ton per harinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemungkinan penggunaan *slag* sebagai pengganti agregat kasar pada beton dengan teknik solidifikasi sehingga tidak membahayakan bagi lingkungan. Penggantian *slag* baik sebagian maupun seluruhnya juga dapat membantu melestarikan batu alam yang digunakan sebagai sumber agregat kasar. Pada tahap awal ini akan dievaluasi tiga jenis variasi *slag* yaitu 60%, 80%, 100%. Penelitian sejenis lainnya akan mengevaluasi penggantian *slag* terhadap agregat kasar 20% dan 40%. Kedua data tersebut akan dievaluasi mengenai aspek teknis beton yaitu kuat tekan, kuat tarik, berat jenis dan workabilitas. Aspek ekonomi dan lingkungan akan dibahas secara singkat.

Kata kunci : *slag*, beton, aspek teknis, aspek ekonomi, aspek lingkungan.

ABSTRACT

Awareness to environmental issues has raised it the past two decades. Waste elements and side products from the Construction Industry are one of the major topics that concern not only environment experts but also subject directly or indirectly connected to the Construction Industry. PT. Inti General Yaja Steel (I.G.Y.S), Semarang, a forge steel industry that produces steel elements from used steel products has a by product in the form of solid waste called slag. This slag is produced from the steel dissociation process and can reach to a quantity of 10-15 metric-ton daily. This research work is aimed to investigate the possibility of using slag as an alternate to coarse aggregates in concrete. The slag will thus undergo a solidification process and therefore will be no longer a problem from the environmental point of view. The substitution of this slag, partly or totally, will also help conserve the natural stones used as coarse aggregates reserve. In this preliminary stage three variation of slag content will be evaluated, which are: 60%;80% and 100%. Another accompanying research will evaluate substitution of 20% and 40% slag to coarse aggregate. Data that will be conducted in the analysis are the properties of concrete such as; compressive strength, tensile strength, specific gravity and workability. The economical and environmental aspect will be discussed briefly. .

Keyword : slag, concrete, technical aspect, economic, environment

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAKSI	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum	3
2.2 Teori Tentang Beton	3
2.2.1 Kuat Tekan Beton.....	4
2.2.2 Kuat Tarik Beton	5
2.2.3. Workabilitas.....	5
2.3. Material	6
2.3.1. Semen <i>Portland</i> (PC).....	6
2.3.2. Agregat	7
2.3.3. Air	8
2.4. Limbah Padat (<i>Slag</i>).....	8
2.4.1 Kegunaan Limbah Padat (<i>Slag</i>)	9
2.4.2 Keuntungan Penggunaan Limbah Padat (<i>Slag</i>)	9

2.4.3. Karakteristik Limbah Padat (<i>Slag</i>)	9
2.5. Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i> Beton)	10
2.5.1. <i>Mix Design</i> Berdasarkan <i>DOE</i>	10
2.6. Solidifikasi	14
2.7. Penelitian Sejenis yang pernah dilakukan.....	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum	18
3.2 Bahan dan Alat.....	18
3.2.1 Bahan	18
3.2.2 Alat	19
3.2.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	20
3.3.1 Tahapan Penelitian.....	21
3.3.1.1. Tahap Persiapan	21
3.3.1.2. Tahap Pelaksanaan Penelitian	21
3.3.1.3. Tahap Analisis dan Pembahasan.....	22

BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Hasil Pengujian Material	34
4.1.1 Pengujian Semen	34
4.1.2 Pengujian Agregat Halus (Pasir)	36
4.1.3 Pengujian Agregat Kasar	37
4.2 Analisis Data Pengujian Material	39
4.2.1. Analisis Data Pengujian Semen	39
4.2.2. Analisis Data Pengujian Agregat Halus (Pasir)	40
4.2.3. Analisis Data Pengujian Agregat Kasar	40
4.3. Hasil Pengujian Parameter.....	40
4.3.1 Pengujian Kuat Tekan	40
4.3.2 Pengujian Kuat Tarik.....	44
4.3.3 Pengujian Berat Jenis.....	44

4.3.4	Pengujian Workabilitas.....	45
4.3.5	Uji Perlindian Beton	45
4.4.	Pengujian Statistik.....	47
4.4.1.	Statistika Deskripsi.....	47
4.4.2.	Metode <i>Kolmogorov Smirnov</i>	48
4.4.3.	Metode <i>One Way Anova</i>	50
4.5.	Analisis Data	68
4.5.1.	Analisis Kuat Tekan	68
4.5.2.	Analisis Kuat Tarik	69
4.5.3.	Analisis Berat Beton.....	70
4.5.4.	Analisis Berat Jenis	71
4.5.5.	Analisis Workabilitas	73
4.6.	Analisis Ekonomi	74
4.7.	Analisis Perlindian Beton.....	75
4.7.1.	Konsentrasi Cr dan Zn	75
4.7.2.	Laju Perlindian Cr dan Zn.....	78
4.8.	Pengamatan Benda Uji.....	80
4.8.1.	Pola Retak	80

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	84
5.2	Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR NOTASI

DAFTAR INDEKS

LAMPIRAN:

1. LAMPIRAN DATA
2. LAMPIRAN LEMBAR ASISTENSI
3. LAMPIRAN SURAT - MENYURAT

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia dari Limbah padat (<i>slag</i>).....	10
Tabel 3.1	Interval koefisien korelasi	33
Tabel 4.1	Hasil pengujian agregat halus	36
Tabel 4.2	Hasil pengujian variasi <i>slag</i> 60%	37
Tabel 4.3	Hasil pengujian variasi <i>slag</i> 80%	38
Tabel 4.4	Hasil pengujian variasi <i>slag</i> 100%	39
Tabel 4.5	Hasil uji kuat tekan variasi <i>slag</i> 60 %	41
Tabel 4.6	Hasil uji tekan tekan variasi <i>slag</i> 80 %	42
Tabel 4.7	Hasil uji kuat tekan variasi <i>slag</i> 100 %	43
Tabel 4.8	Hasil uji kuat tarik variasi <i>slag</i> 60 %	44
Tabel 4.9	Hasil uji kuat tarik variasi <i>slag</i> 80 %	44
Tabel 4.10	Hasil uji kuat tarik variasi <i>slag</i> 100 %	44
Tabel 4.11	Hasil uji berat jenis	45
Tabel 4.12	Variasi <i>slag</i> dan nilai <i>slump</i>	45
Tabel 4.13	Rerata konsentrasi Cr	46
Tabel 4.14	Rerata konsentrasi Zn.....	46
Tabel 4.15	Deskripsi workabilitas beton (cm)	47
Tabel 4.16	Deskripsi berat beton (Gram).....	47
Tabel 4.17	Deskripsi kuat tekan beton (Mpa).....	47
Tabel 4.18	Deskripsi kuat tarik beton (Mpa)	48
Tabel 4.19	Deskripsi berat jenis.....	48
Tabel 4.20	Nilai probabilitas workabilitas metode <i>Kolmogorov – Smirnov</i>	49
Tabel 4.21	Nilai probabilitas berat beton metode <i>Kolmogorov – Smirnov</i>	49
Tabel 4.22	Nilai probabilitas kuat tekan beton metode <i>Kolmogorov – Smirnov</i>	49
Tabel 4.23	Nilai probabilitas kuat tarik beton metode <i>Kolmogorov – Smirnov</i>	49
Tabel 4.24	Nilai probabilitas berat jenis beton metode <i>Kolmogorov – Smirnov</i>	50

Tabel 4.25	Deskripsi workabilitas beton metode <i>One Way Anova</i> (cm)	51
Tabel 4.26	Deskripsi berat beton metode <i>One Way Anova</i> (Gram)	52
Tabel 4.27	Deskripsi kuat tekan beton Metode <i>One Way Anova</i> (MPa)	53
Tabel 4.28	Deskripsi kuat tarik beton Metode <i>One Way Anova</i> (Mpa)	54
Tabel 4.29	Deskripsi berat jenis beton Metode <i>One Way Anova</i>	55
Tabel 4.30	Hasil uji homogenitas varians.....	56
Tabel 4.31	Hasil Analisis varians	57
Tabel 4.32	Hasil Analisis <i>Turkey and Bonferroni test</i> untuk workabilitas	57
Tabel 4.33	Hasil Analisis <i>Turkey and Bonferroni test</i> untuk berat	59
Tabel 4.34	Hasil Analisis <i>Turkey and Bonferroni test</i> untuk kuat tekan	60
Tabel 4.35	Hasil Analisis <i>Turkey and Bonferroni test</i> untuk kuat tarik	62
Tabel 4.36	Hasil Analisis <i>Turkey and Bonferroni test</i> untuk berat jenis	64
Tabel 4.37	Hasil Analisis <i>homogeneous subset</i> untuk workabilitas	65
Tabel 4.38	Hasil Analisis <i>homogeneous subset</i> untuk berat	66
Tabel 4.39	Hasil Analisis <i>homogeneous subset</i> untuk kuat tekan.....	66
Tabel 4.40	Hasil Analisis <i>homogeneous subset</i> untuk kuat tarik	67
Tabel 4.41	Hasil Analisis <i>homogeneous subset</i> untuk berat jenis.....	67
Tabel 4.42	Kuat tekan rata-rata variasi 0%,20%,40%	68
Tabel 4.43	Kuat tekan rata-rata variasi 60%,80%,100%	68
Tabel 4.44	Kuat tarik rata-rata variasi 0%,20%,40%	69
Tabel 4.45	Kuat tarik rata-rata variasi 60%,80%,100%	69
Tabel 4.46	Data Berat rata-rata variasi 0%,20%,40%	70
Tabel 4.47	Data Berat rata-rata variasi 60%,80%,100%.....	70
Tabel 4.48	Berat jenis rata-rata variasi 0%,20%,40%.....	71
Tabel 4.49	Berat jenis rata-rata variasi 60%,80%,100%.....	72
Tabel 4.50	Data slump rata-rata variasi 0%,20%,40%	73
Tabel 4.51	Data slump rata-rata variasi 60%,80%,100%	73
Tabel 4.52	Harga bahan campuran beton.....	74
Tabel 4.53	Perbandingan variasi limbah dan harga beton per m ³	74
Tabel 4.54	Perbandingan variasi limbah dan harga beton per m ³	75
Tabel 4.55	Laju perlindungan Cr	78
Tabel 4.56	Laju perlindungan Zn.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipe-tipe keruntuhan <i>slump</i>	6
Gambar 3.1(a)	<i>Slag</i>	18
Gambar 3.1(b)	Agregat kasar 2/3”	18
Gambar 3.2	Diagram alir tahapan penelitian	20
Gambar 3.3	Persiapan material	22
Gambar 3.4	Pengukuran nilai <i>slump</i>	22
Gambar 3.5	Perendaman benda uji	23
Gambar 3.6 (a)	Penimbangan sampel beton	24
Gambar 3.6 (b)	Sampel beton dimasukkan ke dalam air raksa	24
Gambar 3.6 (c)	Penimbangan air raksa yang tumpah	24
Gambar 3.7 (a)	Proses <i>Capping</i>	25
Gambar 3.7 (b)	Penimbangan benda uji	25
Gambar 3.7 (c)	Benda uji sebelum pengujian kuat tekan	26
Gambar 3.7 (d)	Benda uji sesudah pengujian kuat tekan	26
Gambar 3.8 (a)	Pengujian kuat tarik beton	27
Gambar 3.8 (b)	Benda uji sesudah pengujian	27
Gambar 4.1	Benda uji kuat tarik variasi 80%	70
Gambar 4.2 (a)	Tegangan geser pada sisi-sisi benda uji kubus	80
Gambar 4.2 (b)	Tegangan geser pada sisi-sisi benda uji silinder	80
Gambar 4.3	Macam pola retak	80
Gambar 4.4	Pola retak pada semua variasi <i>slag</i>	81
Gambar 4.5	Pola retak arah horisontal	82
Gambar 4.6	Ilustrasi terbentuknya pola retak horisontal	83

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton	7
Grafik 2.2	Hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen (FAS)	12
Grafik 2.3	Hubungan antara berat isi campuran beton, jumlah air pengaduk, dan berat jenis SSD agregat gabungan	13
Grafik 4.1	Konsistensi normal semen	35
Grafik 4.2	Pengikatan awal semen	35
Grafik 4.3	Hubungan kuat tekan beton dengan variasi <i>slag</i>	68
Grafik 4.4	Hubungan kuat tarik rata-rata dengan variasi <i>slag</i>	69
Grafik 4.5	Hubungan berat beton rata-rata dengan variasi <i>slag</i> pola linear ..	71
Grafik 4.6	Hubungan berat jenis rata-rata dengan variasi <i>slag</i> pola linear ..	72
Grafik 4.7	Hubungan nilai slump dan variasi <i>slag</i>	73
Grafik 4.8	Hubungan variasi <i>slag</i> , harga beton per m ³ dan kuat tekan	75
Grafik 4.9	Hubungan hari perendaman terhadap konsentrasi Cr	76
Grafik 4.10	Hubungan hari perendaman terhadap konsentrasi Zn	77
Grafik 4.11	Hubungan hari perendaman terhadap laju perlindian Cr	78
Grafik 4.12	Hubungan hari perendaman terhadap laju perlindian Zn	79

DAFTAR NOTASI

- ASTM : *American Society of Testing and Material*
- DOE : *Department of Environment*
- FAS : Faktor Air Semen , perbandingan antara jumlah air dengan jumlah semen
- FM : *Fineness Modulus*, suatu angka yang menyatakan ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat
- NaOH : Natrium Hidroksida , suatu larutan yang digunakan untuk mengetahui bahan organik dalam agregat halus.
- PBI : Peraturan Beton Bertulang Indonesia , berisi tentang standar material, cara pengerjaan, serta syarat-syarat dalam perencanaan beton bertulang
- PC : *Portland Cement* , merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan, yang digiling bersama-sama bahan utamanya.
- SSD : *Saturated Surface Dry* , suatu keadaan material dimana permukaan material tersebut kering tetapi bagian dalamnya jenuh air.
- SNI : Standar Nasionalisasi Indonesia
- σ_{bm} : kuat desak beton rata-rata
- σ_{bk} : kuat desak karakteristik
- S : deviasi standar, ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton.
- M : $1.645 \cdot S$ = nilai tambah margin.
- Y : perkiraan persentase kumulatif lolos # 9.6 dan # 0.6.
- Y_b : persentase kumulatif pasir lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6
- Y_a : persentase kumulatif split lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6
- α_a : konstanta yang dicari baik dari agregat halus
- B_j Gab : Berat jenis gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut
- f'c : Kuat tekan beton benda uji silinder
- MPa : Mega Pascal, satuan kuat tekan

DAFTAR INDEKS

A

Agregat 7
Agregat halus 2,7,21,74
Agregat kasar 2,7,21,74
Analisis ekonomi 74
Analisis kesamaan kelompok 32,65
Analisis perlindungan 75
Analisis regresi 32
Analisis saringan agregat 8,21,36,37
38,39
Analisis *Tukey and Benferonni*
32,57,59,60,62,64
Analisis varian 31,56,57
Air 8,22
Air raksa 24,25

B

Benda uji silinder 3,70,80,82
Beton 2,3,4,5,6,7,9,10,11,14,28,49,50,
51,70,75,76,77
Berat beton segar 13
Berat isi 7,8,36,37,38,39
Berat jenis 7,8,25,34,36,37,38,39,72,64
Berat jenis asli 21,36,38,39
Berat enis agregat 8,57,67,84
Berat jenis beton 24,44,55,71
Berat jenis gabungan 13
Berat jenis SSD 21,36,37,38,39

C

Capping 26,36,37,38,39
Chrom 45,46,68,76,78,79
Cohesiveness 5
Curing 23

D

Departement of Environment 21
Derajat kebebasan 30,50

Destruksi 16

F

Faktor Air Semen 4,11,34
Fluidity 5

G

Grup Statistik 31,51

H

Homogen 70
Hipotesis 30,31

I

Identik 31,55,56,57
Impact Test 2

K

Kadar air agregat 8
Kadar air bebas 12
Kadar lumpur 21
Kekekalan bentuk 5
Kekuatan semen 5
Kerikil 3,22,74
Koefisien determinasi 32,71,72
Koefisien korelasi 32,33
Konsentrasi 76,77
Konsistensi normal 21.34
Kuat tarik 3,10,18,27,44,48,54,57,
62,69,70,84
Kuat tekan 4,10,8,26,40,41,42,43,
47,53,57,60,66,68,69,75,82,84

L

Laju perlindungan 28,78,79
 Limbah B3 14
 Limbah padat 1,3

M

Mix design 3,10,834,40,84
Mobility 5
 Metode *One Way Anova* 30,50,51,52,
 53,54,55
 Metode *Kolmogorov-smirnov* 30,48,49

P

Pasir 2,22,40,74
 Pasta semen 4
 Pengaruh suhu 5
 Pengerasan awal palsu 5
 Pengikatan Awal 35
 Perawatan beton 23
Plasticity 5
 Pola Retak 80,81,82
Pozzolan 3
 Probabilitas 30,48,49,50,56,89,61,62,
 64,65

R

Regresi 32

S

Sampel beton 24,25,50
Slag 1,2,8,9,21,18,40,41,42,43,44,
 45,46,47,48,49,57,58,59,60,61,
 62,64,65,66,67,68,69,70,71,72,
 73,74,75,76,81,84
 Semen 2,3,4,6,34,39,74,76
Slump 6,22,51,58
 SSD 13,21
 Sementasi 18
 Solidifikasi 3,14

Standar Deviasi 10,11,31,47,48,51,
 53,54,55

Statistika Deskripsi 29,47
 Statistika Hitung 31,56
 Statistika Inferensia 29
 Statistika Tabel 31,56

T

Tingkat kepercayaan 30,51,52,53,54,55

U

Uji Perlindungan 28,45
 Umur Beton 4
 Uji kesamaan varian 55

W

Waktu ikat semen 35,39,59
 Workabilitas 4,18,45,47,51,57,73
Workable 5
 Waktu pengerasan 7
Well graded 84

Z

Zincum 45,46,68,77,78,79
 Zat aditif 3