

LIMBAH LUMPUR INDUSTRI PENGOLAHAN BAJA SEBAGAI PENGGANTI PARSIAL PASIR UNTUK BAHAN BANGUNAN

I Gede Oka Darmayasa^{1*)}, I Kadek Widianara²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati

Denpasar

*Email: oka.darmayasa@unmas.ac.id

ABSTRACT

This research involves the binding/solidification of sludge waste from the steel processing industry originating from a steel industry in West Java, namely sludge waste from the waste processing process of the iron sponge production unit (direct reduction plant) and the wire rod mill production unit using cement as the binding material in the concrete mixture. The binding of sludge waste is carried out on a laboratory scale with mixture proportions of 0, 10, 20, 30, and 40% sludge waste substitution for fine aggregate/sand. Laboratory tests on the mixture include compressive strength, elastic modulus and Poisson ratio, concrete density, permeability, environmental resistance, and leaching tests with TCLP (toxicity characteristic leaching procedure). Heavy metal leaching tests for Pb, Cd, and Zn have the highest values at a 40% mixture proportion, which are 0.065 mg/ltd, 0.234 mg/ltd, values below the quality standard limits for these heavy metals, which are 5.0 mg/ltd, 1.0 mg/ltd, and 50 mg/ltd, respectively. Environmental resistance tests indicate that the mixture has sufficient resistance after testing through 13 cycles, with the highest weight loss in the mixture sample being 13.97%, a value below the established quality standard where the maximum weight loss is 30%.

Keywords: Steel industry, Sludge waste, Solidification, Concrete, Permeability, Compressive strength, Leaching

1. PENDAHULUAN

Industri pengolahan baja merupakan industri yang dalam usahanya melebur bahan baku utama dari biji *pellet/sponge* dan bahan bantu lainnya dengan komposisi yang bervariasi melalui proses kontak atau peleburan dengan energi listrik. Jenis industri ini dapat menimbulkan permasalahan pencemaran terhadap lingkungan akibat adanya limbah sebagai sisa dari proses produksi. Penanganan permasalahan tersebut adalah dengan membangun dan mengoperasikan suatu instalasi pengolah limbah cair.

Penanganan terhadap limbah cair dengan pengendapan secara kimia maupun fisik akan menghasilkan limbah lumpur kering atau limbah padat kuantitas dan kualitas yang sangat bervariasi tergantung jenis proses produksi dan proses pengolahan yang dilakukan. Pengelolaan terhadap limbah lumpur diperlukan oleh

karena logam-logam berat yang ada pada limbah lumpur di kategorikan sebagai bahan yang bersifat *hazardous*.

Pencemaran terhadap lingkungan akibat terlindikannya logam tersebut akan dapat menimbulkan penyakit apabila tidak dilakukan upaya penanganan terhadap limbah lumpur tersebut, akan dapat menimbulkan penyakit akibat adanya logam berat dalam lingkungan, yaitu penyakit bawaan tanah (*soil disease*) (Juli, 1994). Penelitian ini adalah merupakan kajian awal tentang penggunaan limbah lumpur dari industri pengolahan baja khususnya limbah lumpur dari proses produksi besi *sponge* dan produksi batang kawat dengan memanfaatkan sebagai bahan dalam campuran beton.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam skala Laboratorium untuk mengetahui kemampuan pengikatan logam-logam berat limbah lumpur dari *unit direct reduction plant* (DRP) dan *unit wire rod mill* (WRM) sebagai bahan bangunan, dikaitkan dengan minimasi limbah melalui proses pengikatan/solidifikasi dengan semen menjadi bahan seperti beton. Untuk mencapai maksud tersebut dilakukan percobaan dengan mencampur limbah lumpur dengan bahan-bahan pembentuk beton dengan berbagai proporsi campuran. Secara garis besar penelitian ini meliputi kegiatan:

- Analisa karakteristik limbah lumpur dan agregat penyusun beton.
- Analisa sifat fisik hasil campuran yaitu pemeriksaan kuat tekan, modulus elastis dan *poison ratio*, berat isi, permeabilitas dan ketahanan terhadap lingkungan (*durability*).
- Analisa pelindian hasil campuran dengan metode TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*).

Sumber dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian adalah Limbah lumpur hasil pengolahan limbah cair dari sebuah industri pengolahan baja di Jawa Barat yaitu limbah dari unit proses produksi besi *sponge* dan dari proses produksi kawat baja. Campuran penyusun beton yaitu agregat kasar, mempergunakan agregat batu pecah jenis andesit, agregat halus, mempergunakan pasir galunggung (tersedia di Laboratorium Struktur dan Bahan). *Portlandcement* mempergunakan *Portland* tipe I semen merek tiga roda dan air pencampur.

2.2 Analisa Limbah Lumpur dan Bahan Campuran Beton

Analisa terhadap limbah lumpur meliputi analisa sifat kimia dan fisik yang biasa dilakukan dalam pekerjaan beton dengan terlebih dahulu melakukan perawatan terhadap limbah lumpur seperti penghalusan dengan menumbuk dan pengeringan. Analisa terhadap limbah meliputi: analisa kandungan logam berat,

pH, kadar abu dan kadar volatil, *specific gravity*, kadar air, absorpsi, analisa berat volume, modulus kehalusan dan *specific surface area*.

2.3 Analisa Portlandcement

Portlandcement yang dipergunakan dalam percobaan solidifikasi ini adalah *portlandcement* type I semen tiga roda dengan sifat-sifat fisik dan kimia didapatkan pada penelitian sebelumnya tentang semen tersebut.

2.4 Pencampuran Limbah Industri dan Bahan Campuran

Pencampuran awal antar bahan-bahan penyusun beton rencana dilakukan guna mengetahui proporsi campuran yang memenuhi persyaratan yang baik untuk dipakai dalam penelitian ini.

Pada pencampuran awal ini terdapat batasan-batasan pekerjaan sebagai berikut:

1. Dilakukan perawatan awal terhadap limbah lumpur yaitu berupa pengeringan, penghalusan dan pengayakan.
2. Pencampuran agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi portlandcement didasarkan pada perhitungan pencampuran beton tanpa limbah lumpur.
3. Dari hasil campuran diatas, maka dilakukan substitusi bahan yaitu bahan agregat halus dengan limbah lumpur dengan proporsi 10 % sampai 100 %.
4. Berdasarkan hasil langkah 3 diatas, dilakukan uji kuat tekan umur 3 dan 14 hari untuk mendapatkan proporsi campuran yang memenuhi persyaratan.
5. Hasil langkah 4, dipakai sebagai rencana pencampuran dalam langkah selanjutnya.
6. Pencetakan ukuran sampel pencampuran sesuai dengan alat ukur untuk uji beton yaitu silinder 15 x 30 cm.
7. Perawatan dan pengujian terhadap sampel campuran dilakukan sesuai umur rencana beton yaitu umur 3, 7, 14 dan 28 hari.
8. Pengujian permeabilitas, penindian terhadap logam berat dan ketahanan terhadap lingkungan hanya dilakukan pada sampel campuran umur 28 hari.

2.5 Design Campuran Beton

Dalam penelitian ini dipakai metode yang diterapkan oleh *Texas AM University*, mengingat metode ini praktis dalam perhitungan. Prosedur perencanaan antara lain menetapkan nilai slump rencana, ukuran agregat dan rencana mutu beton.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Agregat Kasar dan Halus

Dari hasil pemeriksaan terhadap material penyusun beton yaitu agregat kasar dan agregat halus, memenuhi persyaratan sesuai Peraturan Beton Bertulang

Indonesia 1971, dimana hasil penelitian terhadap agregat kasar dan halus daerah gradasi agregat berada pada daerah yang memenuhi persyaratan.

Kandungan lumpur agregat halus 4,29 %, memenuhi persyaratan sebagai bahan dalam campuran beton dengan batas maksimum 5 % dan kandungan bahan organik memenuhi standar warna *Abram Harder* yaitu standar warna No. 2. Karakteristik sifat fisik agregat kasar dan agregat halus diperlihatkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik Agregat Kasar

Parameter	Satuan	Data Laboratorium
1. spesifik gravity		2,657
2. kadar air	%	1,100
3. absorpsi	%	1,198
4. berat volume	Kg/lt	1,492
5. mod. kehalusan		7,036

Tabel 2. Karakteristik Agregat Halus

Parameter	Satuan	Data Laboratorium
1. spesifik gravity		2,304
2. kadar air	%	2,590
3. absorpsi	%	6,401
4. berat volume	Kg/lt	1,551
5. kadar lumpur	%	4,29
6. mod. kehalusan		2,654
7. spesifik s. area	cm ² /gr	73,007

3.2 Karakteristik Limbah Lumpur

Berdasarkan analisa Tabel 3, memperlihatkan beberapa parameter fisik dan kimia limbah lumpur yang berbeda, hal ini diakibatkan perbedaan dalam bahan baku dan proses produksi yang dipergunakan. Dari tabel terlihat limbah lumpur dari unit pengolahan besi sponge memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan limbah lumpur dari unit *wirw rod mill*, seperti parameter kadar *volatile* dan kadar abu yang menunjukkan kandungan organik yang lebih sedikit, permukaan agregat yang lebih luas dilihat dari nilai *specific surface area* yang lebih besar, kandungan silikat (SiO₂) yang lebih besar. Karakteristik sifat-sifat fisik dan kimia yang dimiliki limbah lumpur disajikan seperti Tabel 3.

3.3 Berat Isi Beton

Dari analisa Tabel 4 dan Gambar 1, nilai berat isi beton hasil pencampuran dengan limbah lumpur menunjukkan adanya kenaikan pada berat isi beton yaitu pada beton basah sesuai dengan penambahan proporsi limbah. Hal ini diakibatkan karena berat volume limbah lumpur yang lebih besar bila dibandingkan dengan

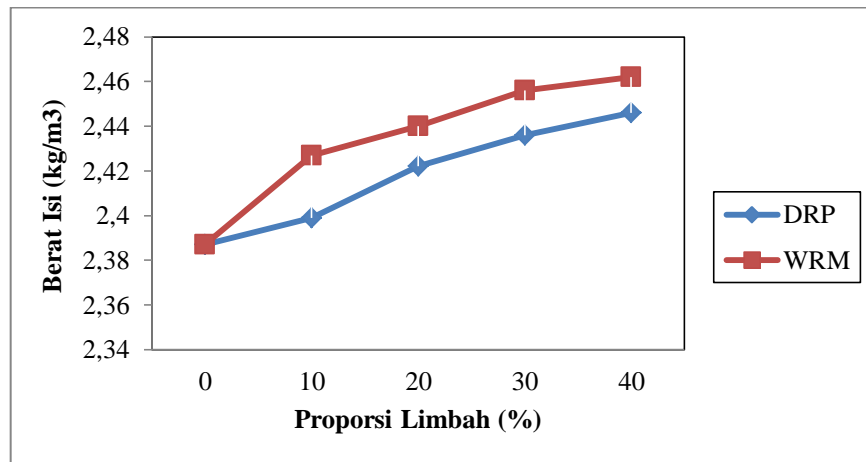
berat volume pasir. Berat isi beton campuran limbah DRP lebih kecil dari limbah WRM, hal ini sesuai dengan berat volume limbah DRP 1.553 kg/l lebih kecil dari berat volume WRM 1.799 kg/l. Berdasarkan pada berat isi tersebut beton hasil campuran limbah dapat digolongkan kedalam beton struktural normal dengan berat isi 2200 – 2600 kg/m³, dengan berat isi beton 2387 – 2462 kg/m³.

Tabel 3. Karakteristik Limbah Lumpur

Sifat Fisik	Satuan	WRM	DRP
1. spesifik gravity		2,630	2,499
2. kadar air	%	3,377	2,424
3. absorpsi	%	2,776	3,95
4. berat volume	Kg/ltr	1,799	1,553
5. modulus kehalusan		2,417	2,414
6. kadar abu	%	95,66	96,30
7. kadar volatil	%	4,33	3,70
8. spesifik surface area	cm ² /gr	149,025	191,040
Sifat Kimia			
1. pH		6,8	7,3
2. kandungan logam Zn	%	0,022	0,039
3. kandungan logam Cd	%	tt	0,0008
4. kandungan logam Cu	%	0,005	0,006
5. kandungan logam Pb	%	tt	0,098
6. kandungan logam Ni	%	0,032	0,015
7. kandungan logam Cr	%	0,014	0,003
8. kandungan Fe total	%	69,25	58,92
9. kandungan logam Mn	%	0,980	0,057
10. kandungan P ₂ O ₅	%	0,064	0,137
11. kandungan Al ₂ O ₃	%	0,13	1,17
12. kandungan SiO ₂	%	0,010	7,014

Tabel 4. Berat Isi Beton Campuran Limbah Industri

Proporsi Limbah (%)	Berat Isi beton (kg/m ³)
0 (beton normal)	2,387
10(Limbah Direct Reduction Plant)	2,399
20(Limbah Direct Reduction Plant)	2,422
30(Limbah Direct Reduction Plant)	2,436
40(Limbah Direct Reduction Plant)	2,446
10(limbah Wire Rod Mill)	2,427
20(limbah Wire Rod Mill)	2,440
30(limbah Wire Rod Mill)	2,456
40(limbah Wire Rod Mill)	2,462



Gambar 1. Berat Isi Beton Terhadap Berbagai Proporsi Campuran Limbah DR *Plant* dan WRM

3.4 Kuat Tekan

Berdasarkan analisa pada Tabel 5 serta Gambar 2, 3 dan 4, menunjukkan bahwa penambahan limbah lumpur dalam campuran beton dapat mempengaruhi nilai kekuatan tekan beton. Nilai kuat tekan yang menurun pada penambahan limbah, akibat adanya senyawa garam-garam terlarut seperti senyawa mangan, tin, cooper dan timbal yang dapat meningkatkan waktu pengikatan (*seting*) dan menurunkan kekuatan fisik dari campuran (EPA, 1989; Porteus, 1985; Puti, 1989; Steven and William, 1988).

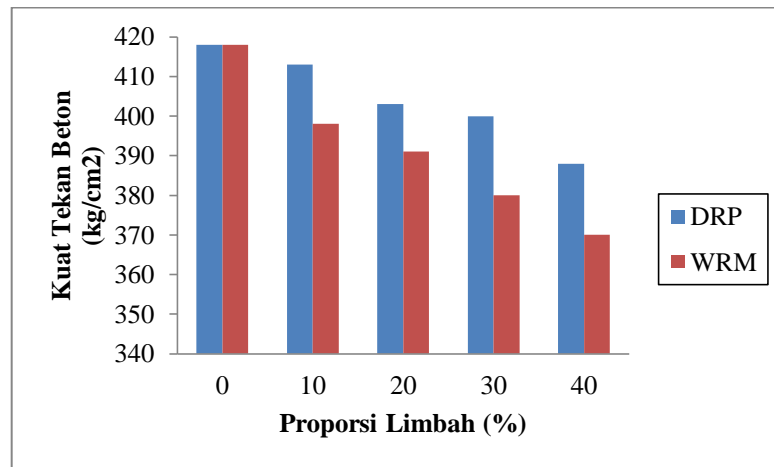
Menurut Puti (1989), kekuatan tekan dan ketahanan material hasil proses pengikatan dengan semen dipengaruhi oleh adanya asam, garam dan alkali. Garam-garam akan menyerap kelembaban dari udara dan akan menimbulkan deposit putih pada permukaan campuran, sehingga menyebabkan hasil campuran menjadi mudah retak. Nilai kuat tekan yang terbesar didapatkan pada beton tanpa campuran limbah industri yaitu pada umur 28 hari dengan nilai kuat tekan 418 kg/cm^2 dan yang terkecil pada campuran limbah lumpur dari *Wire Rod Mill* dengan proporsi 40 % 370 kg/cm^2 . Berdasarkan pada rencana campuran untuk beton mutu K300 dengan kuat tekan rencana $398,4 \text{ kg/cm}^2$ maka proporsi limbah lumpur maksimum dalam campuran beton adalah 30 % untuk lumpur *Direct Reduction Plant* dan 10 % untuk limbah lumpur *Wire Rod Mill*, dengan kuat tekan umur 28 hari sebesar 400 kg/cm^2 dan 398 kg/cm^2 . Adanya perbedaan kuat tekan beton campuran limbah *direct reduction plant* dan *wire rod* dapat dilihat dari karakteristik kimia dan fisik kedua limbah lumpur yaitu dari kandungan silikat dan kandungan besi, limbah DRP memiliki silikat 7.014 %, sedangkan WRM 0.010 % dan kandungan besi total 58.92%, sedangkan WRM 69.25 %. Kandungan oksida besi dalam beton dibatasi, hal ini dapat dilihat dari kandungan oksida untuk semen maksimum 6 %. Kadar organik lumpur DRP lebih kecil dari lumpur

WRM yaitu dilihat dari kadar volatile, yang mana bahan organik dapat mengganggu proses solidifikasi (Damanhuri, 1993; Porteus, 1985).

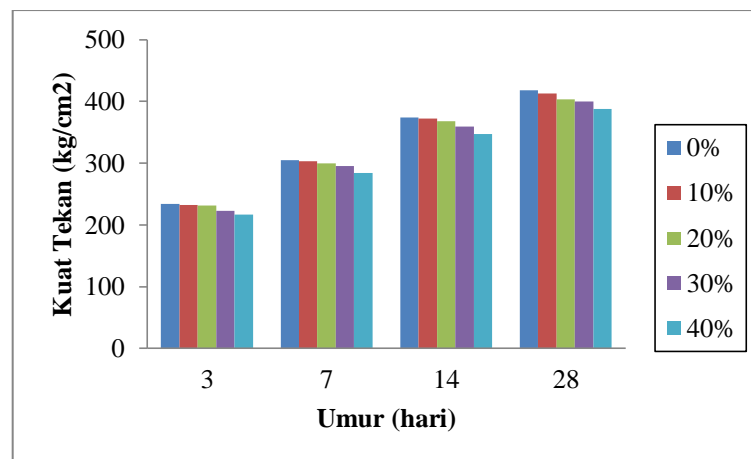
Dari nilai kadar air 2.424 % dan absorpsi 3.95 %, limbah DRP memiliki karakteristik yang baik dibandingkan lumpur WRM dengan kadar air 3.374 % dan absorpsi 2.776 %, dengan ratio air semen yang konstan nilai slump beton menjadi lebih kecil, dengan nilai slump yang makin kecil akan dihasilkan porositas dan kuat tekan campuran yang lebih baik.

Tabel 5. Kuat Tekan Beton Campuran Limbah Industri

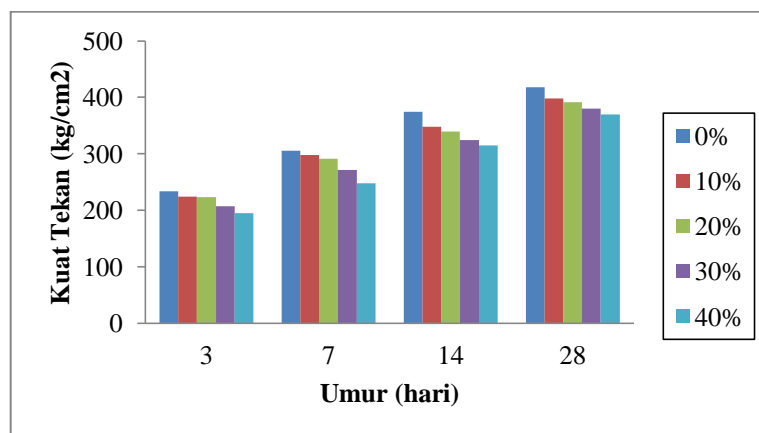
Limbah (%)	Waktu (hari)	Kuat Tekan (kg/cm ²) DRP	Kuat Tekan (kg/cm ²) WRM
0 (normal)	3	234	234
	7	305	305
	14	374	374
	28	418	418
10	3	232	224
	7	303	298
	14	372	348
	28	413	398
20	3	231	223
	7	300	291
	14	368	339
	28	403	391
30	3	223	207
	7	295	271
	14	359	324
	28	400	380
40	3	217	195
	7	284	248
	14	347	315
	28	388	370



Gambar 2. Kuat Tekan dan Proporsi Limbah Industri DR *Plant* dan WRM Umur 28 Hari



Gambar 3. Kuat Tekan Beton terhadap Umur Benda Uji pada Berbagai Proporsi Campuran Limbah DR *Plant*



Gambar 4. Kuat Tekan Beton terhadap Umur Benda Uji pada Berbagai Proporsi Campuran Limbah WRM

3.5 Modulus Elastis dan *Poison Ratio*

Dari hasil perbandingan angka-angka Tabel 6, 7 serta gambar 5, menunjukkan bahwa hasil penelitian beton campuran limbah lumpur mempunyai nilai modulus elastis yang lebih kecil dibandingkan dengan persamaan yang direkomendasikan oleh ACI 83. Perbedaan angka tersebut karena penggunaan material yang berbeda dalam hal ini adanya limbah lumpur yang memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan pasir dilihat dari kekuatan/kekerasan material. Pada beton campuran limbah industri angka perbandingan *poison ratio* berada pada nilai yang direkomendasikan untuk beton normal yaitu menurut ASTM C469-83 dan BS part 121-1983 dengan nilai 0,15-0,20 (Roger *et al.*, 1989).

Tabel 6. Modulus Elastis Beton Campuran Limbah DR *Plant*

Proporsi Campuran Limbah Industri (%)	Berat Jenis Beton (pcf)	Kuat Tekan Beton (psi)	Modulus Elastis ACI 83 (1) x 10 ⁶ (psi)	Modulus Elastis ACI 83 (2) x 10 ⁶ (psi)	Modulus Elastis Hasil Penelitian x 10 ⁶ (psi)
0	149.12	5945.09	4.633370	4.583592	3.863240
10	149.36	5873.99	4.616668	4.567104	3.654416
20	149.59	5731.75	4.571001	4.521893	3.467010
30	149.83	5689.09	4.564923	4.515880	3.144497
40	149.94	5532.64	4.506676	4.458259	2.876881

Tabel 7. Modulus Elastis Beton Campuran Limbah WRM

Proporsi Campuran Limbah Industri (%)	Berat Jenis Beton (pcf)	Kuat Tekan Beton (psi)	Modulus Elastis ACI 83 (1) x 10 ⁶ (psi)	Modulus Elastis ACI 83 (2) x 10 ⁶ (psi)	Modulus Elastis Hasil Penelitian x 10 ⁶ (psi)
0	149.12	5945.09	4.633370	4.583592	3.863240
10	149.94	5660.65	4.558514	4.509540	3.062324
20	150.06	5561.09	4.548114	4.475074	2.853530
30	150.18	5404.64	4.464938	4.416969	2.562353
40	150.30	5262.41	4.411078	4.363687	2.461868

3.6 Koefisien Permeabilitas dan Penetrasi Air

Berdasarkan analisa Tabel 8, Gambar 5 dan 6 besarnya koefisien permeabilitas dan penetrasi air kedalam beton didapatkan hasil bahwa nilai koefisien permeabilitas beton dan penetrasi air terkecil didapatkan pada beton tanpa campuran limbah industri. Membesarnya koefisien permeabilitas dan penetrasi air yang masuk kedalam beton diakibatkan oleh beton yang terbentuk mempunyai

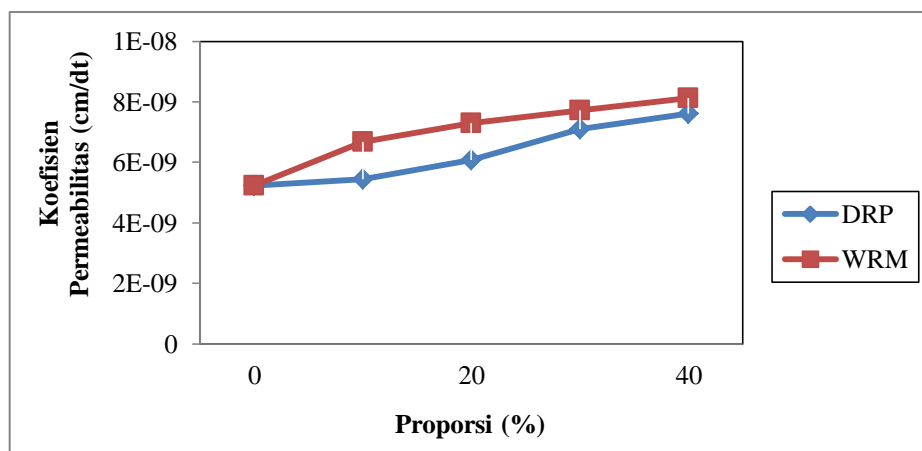
matrik yang kurang baik dibandingkan dengan beton normal, akibatnya adanya senyawa garam-garam terlarut dalam limbah yang dapat mengakibatkan turunnya kekuatan fisik campuran (Munaf, 1993; Roger *et al.*, 1989).

Berdasarkan pada hasil penelitian nilai koefisien permeabilitas pada beton tanpa campuran limbah industri yaitu 5.24×10^{-9} cm/dt dan penetrasi air sebesar 2,55 cm. sedangkan nilai terbesar didapatkan pada campuran limbah *Wire Rod Mill* dengan proporsi limbah lumpur 40 % yaitu 8.12×10^{-9} cm/dt, dengan penetrasi air rata-rata 3,95 cm.

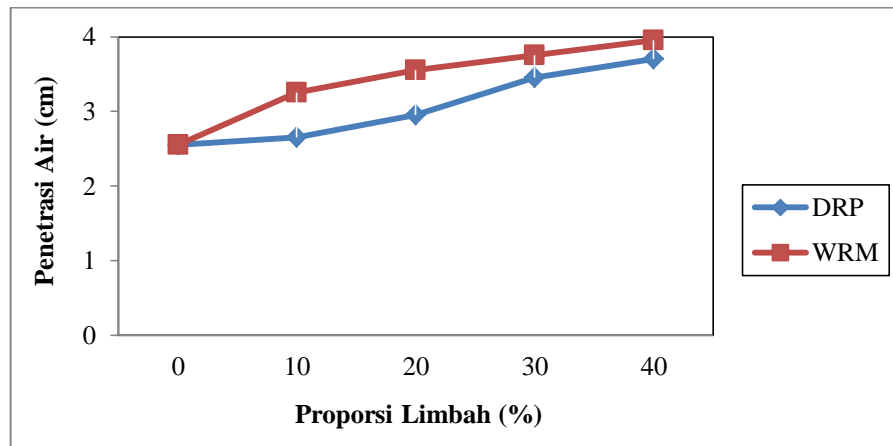
Dari nilai kadar air 2.424 % dan absorpsi 3.95 %, limbah DRP memiliki karakteristik yang baik dibandingkan lumpur WRM dengan kadar air 3.374 % dan absorpsi 2.776 %, karena dengan ratio air dan semen yang konstan nilai slump beton menjadi lebih kecil, dan dengan nilai slump yang makin kecil akan dihasilkan porositas yang lebih baik. Terhadap hasil penetrasi air yang masuk kedalam beton dengan alat uji DIN 1048 dan syarat standar DIN 1045 memenuhi persyaratan sebagai bahan kedap air yaitu penetrasi air lebih kecil dari 5 cm.

Tabel 8. Koefisien Permeabilitas dan Penetrasi Air

Proporsi Limbah (%)	Umur (hari)	Koefisien Permeabilitas (cm/dt)	Penetrasi (cm)
0	28	$5,24 \times 10^{-9}$	2,55
10 DRP	28	$5,45 \times 10^{-9}$	2,65
20 DRP	28	$6,07 \times 10^{-9}$	2,95
30 DRP	28	$7,10 \times 10^{-9}$	3,45
40 DRP	28	$7,61 \times 10^{-9}$	3,7
10 WRM	28	$6,68 \times 10^{-9}$	3,25
20 WRM	28	$7,30 \times 10^{-9}$	3,55
30 WRM	28	$7,71 \times 10^{-9}$	3,75
40 WRM	28	$8,12 \times 10^{-9}$	3,95



Gambar 5. Koefisien Permeabilitas dan Proporsi Limbah



Gambar 6. Penetrasi Air dan Proporsi Limbah

3.7 Pengujian Pelindian

Parameter kimia air hasil pelindian campuran beton limbah industri yang diteliti hanya beberapa logam berat, yaitu logam berat cadmium, timbal dan seng. Dari analisa hasil pelindian Tabel 9 dan 10, dan dilakukan perbandingan dengan Surat Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No:04/Bapedal/09/1995 yaitu tentang baku mutu uji TCLP (hasil ekstraksi/lindi). Berdasarkan pada acuan tersebut dan analisa terhadap campuran limbah untuk logam-logam berat seperti kadmium, timbal dan seng memenuhi baku mutu yang ada yaitu untuk logam berta kadmium, konsentrasi dalam ekstraksi limbah (mg/l) 1.0, logam berta timbal 5.0 dan logam seng 50.0 mg/lt berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 tahun 1994 dan Nomor 12 tahun 1995 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Tabel 9. Pelindian Logam dengan TCLP

Parameter	<i>Direct Reduction Plant</i> 10% (mg/l)	<i>Direct Reduction Plant</i> 20% (mg/l)	<i>Direct Reduction Plant</i> 30% (mg/l)	<i>Direct Reduction Plant</i> 40% (mg/l)
Cd	0,060	0,061	0,064	0,065
Pb	0,314	0,375	0,398	0,516
Zn	0,221	0,222	0,234	0,234

Tabel 10. Pelindian dengan Metode TCLP

Parameter	<i>Wire Rod Mill</i> 10% (mg/l)	<i>Wire Rod Mill</i> 20% (mg/l)	<i>Wire Rod Mill</i> 30% (mg/l)	<i>Wire Rod Mill</i> 40% (mg/l)
Cd	tt	tt	tt	tt
Pb	tt	tt	tt	tt
Zn	0,210	0,210	0,216	0,228

3.8 Pengujian Ketahanan Terhadap Lingkungan

Analisa data Tabel 11 dan 12, pengujian ketahanan terhadap lingkungan pada sampel campuran yaitu dengan melakukan simulasi keadaan dengan merendam dalam air aquades dan memanaskan dalam oven 105°C masing-masing selama 13 siklus dengan standar ASTM D4843 didapatkan pengurangan berat sampel maksimum 13.97 %. Persyaratan dari ASTM D4843 kehilangan berat sampel setelah mengalami siklus tersebut maksimum 30 % berat (EPA, 1989).

Tabel 11. Ketahanan Terhadap Lingkungan

Berat Sampel	Limbah <i>Direct Reduction Plant</i> Proporsi (%)			
	10	20	30	40
Awal				
1	185.5	185.5	193.2	193.5
2	185.5	190.2	192.5	194.0
3	180.0	180.5	190.3	193.0
Akhir				
1	171.8	163.2	172.4	165.5
2	171.9	172.0	175.5	166.0
3	169.0	158.8	176.0	166.8

Tabel 12. Pengukuran Ketahanan Terhadap Lingkungan

Berat Sampel	<i>Wire Rod Mill</i> Proporsi (%)			
	10	20	30	40
Awal				
1	184.5	191.0	197.0	198.0
2	185.0	186.5	195.0	198.2
3	186.0	192.5	190.5	198.0
Akhir				
1	170.7	172.9	180.7	179.8
2	165.5	180.0	177.9	178.9
3	166.5	165.6	178.1	177.9

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian terhadap sampel beton yang dipergunakan, maka dapat disimpulkan bahwa solidifikasi limbah lumpur industri DR *Plant* dan WRM dengan semen menjadi bahan seperti beton, menghasilkan materi padatan yang cukup baik dilihat dari hasil pengujian sifat-sifat fisik campuran. Solidifikasi limbah lumpur tersebut memungkinkan dipakai sebagai bahan dalam campuran beton yaitu sebagai bahan beton struktural normal.

Berdasarkan pada hasil pengujian sifat-sifat fisik campuran seperti kuat tekan, modulus elastis dan poison ratio, berat isi, permeabilitas dan penetrasi air serta uji ketahanan terhadap perubahan keadaan basah dan kering. Limbah lumpur DR *Plant* dan WRM dapat dipergunakan sebagai bahan beton yaitu sebagai pengganti agregat halus/pasir.

Pengujian ketahanan/durability melalui simulasi 13 siklus, menunjukkan hasil campuran mempunyai durability yang baik, karena kehilangan berat setelah siklus tersebut tidak melebihi nilai kehilangan berat yang diijinkan yaitu kehilangan berat 30%.

Pengujian pelindian logam-logam berat dengan metode TCLP pada hasil campuran limbah DR *Plant* dan WRM, menunjukkan bahwa pelindian logam-logam berat kadmium, timbal dan seng berada dibawah ambang batas baku mutu untuk uji pelindian. Berdasarkan pada pengujian pelindian tersebut hasil campuran tidak dapat dikatakan sebagai bahan berbahaya dan beracun. Dari hasil pengujian sifat-sifat fisik didapatkan kebutuhan bahan-bahan dalam campuran yang memenuhi persyaratan uji sifat-sifat fisik sebagai berikut.

1. Semen : Normal (40.61); 10% WRM (40.61); 30% DR *Plant* (40.61)
2. Air : Normal (17.40); 10% WRM (17.40); 30% DR *Plant* (17.40)
3. Agregat Kasar : Normal (71.60); 10% WRM (71.60); 30% DR *Plant* (71.60)
4. Agregat Halus : Normal (46.36); 10% WRM (41.72); 30% DR *Plant* (32.45)
5. Limbah : Normal (-); 10% WRM (4.63); 30% DR *Plant* (13.91)

DAFTAR PUSTAKA

- Damanhuri, E. 1993. *Diklat Kuliah: Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*. Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- EPA. 1989. *Stabilization/Solidification of CERLA and RCRA Wastes, Physical Tests, Chemical Testing procedures, Technology Screening and Field Activities*.
- Juli Soemirat Slamet. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Bandung: Gajah Mada University Press.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 04/09/1995 tentang *Tata Cara dan Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan*,

Lumpur Industri Pengolahan Baja Sebagai Pengganti Parsial Pasir Untuk Bahan Bangunan

Persyaratan lokasi Bekas Pengolahan, dan lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Munaf, D.R. 1993. *Pedoman Pelaksanaan Praktikum di Laboratorium Struktur dan Bahan*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Bandung.

Peraturan Beton Bertulang Indonesia NI-2 1971, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Departemen Pekerjaan Umum, Bandung 1971.

Penanganan Limbah di Pabrik Baja Canai Dingin, Audit Lingkungan, Divisi Pengendalian Lingkungan PT Krakatau Steel, September 1992.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 1994 dan Nomor 12 Tahun 1995 tentang *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.

Pengertian Limbah Scrap Logam, Workshop Implementasi Konvensi Basel, 9 Januari 1996.

Porteus, Andrew. 1985. *Hazardous waste management Hand Book*. Butterworths and Co. London.

Puti Purida Tamin. 1989. *Teknologi Beton*. Laboratorium Mekanika Struktur, Pusat Antar Universitas – Ilmu Rekayasa. Institut Teknologi Bandung.

Roger Batstone, et al. 1989. *The Safe Disposal of Hazardous Wastes, Volume II*. World Bank Technical Paper Number 93.

Steven H., Kotmatka, William C.Panarese. 1988. *Design and Control of Concrete Mixtures*. Engineering Buletin, Thirteenth Edition.