

PEMANFAATAN LIMBAH SPENT CATALYST SEBAGAI CAMPURAN PAVING BLOCK DAN BATAKO

UTILIZATION OF SPENT CATALYST WASTE FOR MIXED PAVING BLOCK AND BRICKS

^{1*} Desak Nyoman Inten Apriani, ²Benno Rahardyan

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

*yahoo.com

Abstrak: Dewasa ini, kegiatan perindustrian di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan hidup masyarakat, terutama industri minyak dan gas bumi. Hal ini berdampak pada meningkatnya limbah B3 yang memerlukan pengolahan lebih lanjut sebelum dibuang ke landfill. Salah satu limbah B3 yang banyak dihasilkan adalah limbah spent catalyst yang berasal dari hasil proses perengkahan hidrokarbon yang mencapai sedikitnya 17 ton per hari. Pengelolaan limbah B3 di Indonesia merujuk pada PP No. 18/2009 jo PP No.85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Salah satu langkah pengelolaan itu adalah dengan cara solidifikasi, yaitu perubahan karakteristik fisik-kimia pada limbah B3 dengan penambahan senyawa pengikat (aditif) sehingga pergerakan logam berat dapat dihambat. Analisis karakteristik awal dilakukan terhadap limbah spent catalyst untuk mengetahui kadar total logam berat dan kadar oksida logam yang terdapat dalam limbah. Dari pemeriksaan karakteristik fisik-kimia tersebut, didapat hasil bahwa limbah spent catalyst dapat digunakan sebagai pengganti binder dalam pelaksanaan campuran solidifikasi ini. Kandungan logam berat yang terdapat dalam limbah juga telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Bapedal No. 03/1995. Pada penelitian ini juga terdapat analisis ekonomi untuk menilai kelayakan benda uji selain dari segi teknik, dan juga analisis sensitivitas sehingga dapat diketahui harga produksi setiap variasi dan faktor apa saja yang mempengaruhi harga produksi tersebut apabila harga bahan baku material mengalami peningkatan.

Kata kunci: analisis ekonomi, kuat tekan, paving block, solidifikasi, spent catalyst.

Abstract : Nowadays, industrial activity in Indonesia has increased along with the increasing needs from society, especially in oil and gas industry. This has resulted in the increasing of B3 waste that require further processing before being discharged into landfill. One of the hazardous waste produced in oil and gas industry is spent catalyst waste from the hydrocarbon cracking process that reached at least 17 tons per day. Hazardous waste management in Indonesia, referring to the PP. 18/2009 jo PP No.85/1999 on the Management of Hazardous and Toxic Waste (B3). One of the steps of hazardous waste management is solidification, which is the conversion of physical-chemical characteristics of the hazardous waste with the addition of a binder compound (additive) so that the movement of heavy metals may be inhibited. Analysis of basic characteristics are made for the spent catalyst waste to determine the total concentration levels of heavy metals and metal oxides contained in waste. From the examination of physical-chemical characteristics, the result is that the waste spent catalyst can be used as binder substitute and fine aggregate mixture in the implementation of this solidification. The content of heavy metals contained in the waste also has to meet quality standards set by Bapedal No. 03/1995. In this research, other than in terms of technique, there are also economic analysis to acknowledge the feasibility of the specimen, as well as sensitivity analysis so that it can be seen every variation's production rates and what factors affect the price of production if prices of raw materials increased.

Key words: compressive strength, economic analysis, paving blocks, solidification, spent catalyst

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan kota, penambahan penduduk, tingkat aktivitas, dan tingkat sosial ekonomi masyarakat diiringi dengan meningkatnya jumlah industri. Peningkatan jumlah kegiatan industri ini akan memicu peningkatan limbah sebagai hasil samping proses produksi industri tersebut, salah satu diantaranya adalah limbah yang bersifat berbahaya dan beracun atau dikenal sebagai limbah B3. Oleh karena itu, limbah B3 perlu penanganan yang tepat agar tidak berbahaya bagi lingkungan, manusia maupun makhluk hidup lainnya ketika dibuang ke lingkungan.

Pengelolaan limbah B3 di Indonesia merujuk pada PP No.18/2009 jo PP No.85/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dan Kep-03/Bapedal/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Limbah Berbahaya dan Beracun, sebelum melakukan pengolahan terhadap limbah B3 tersebut harus dilakukan pengujian karakteristik limbah pada parameter fisik dan/atau kimia dan/atau biologi guna menentukan pengolahan apa yang cocok untuk limbah B3 tersebut (Damanhuri, 2004). Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan cara solidifikasi.

Menurut Kep-03/Bapedal/09/1995, proses solidifikasi adalah suatu tahapan proses pengolahan limbah B3 untuk mengurangi potensi racun dan kandungan limbah B3 melalui upaya memperkecil/membatasi daya larut, pergerakan/penyebaran dan daya racunnya (immobilisasi unsur yang bersifat racun) sebelum limbah B3 tersebut dibuang ke tempat penimbunan akhir (*landfill*). Prinsip kerja solidifikasi sendiri adalah dengan pengubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat (*binder*) sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*).

Pada penelitian ini akan digunakan limbah *spent catalyst* yang merupakan limbah B3 untuk melihat potensi pemanfaatannya sebagai bahan solidifikasi, dalam hal ini sebagai bahan campuran *paving block* dan batako. *Paving block* dan batako merupakan campuran dari agregat halus dan binder. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilihat apakah limbah *spent catalyst* dapat digunakan sebagai bahan substitusi pengganti binder dan agregat halus.

Spent catalyst yang digunakan berasal dari limbah industri migas sebagai material yang berfungsi untuk mempercepat proses perengkahan rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan lebih berharga, seperti gasoline, *liquid petroleum gas* (LPG), dan lain-lain. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah katalis Silica Alumina. Pada proses perengkahan hidrokarbon, katalis diregenerasi kembali sehingga dapat digunakan lagi pada proses-proses selanjutnya, namun katalis yang terdapat di dalam Reaktor harus terjaga keaktifannya sehingga setiap harinya diadakan penambahan *fresh* katalis sebanyak 12 ton per harinya. Apabila level katalis di dalam Regenerator lebih dari 45% maka dilakukan *Catalyst Withdrawal* dan *spent catalyst* yang dihasilkan kurang lebih sebanyak 17 ton per harinya.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium Teknik Lingkungan dan Teknik Sipil. Pemeriksaan untuk seluruh parameter fisik dilakukan di Laboratorium Buangan Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITB dan Laboratorium Rekayasa Jalan Teknik Sipil ITB, sedangkan pemeriksaan parameter kimia seperti total logam berat dan oksida logam dilakukan di Laboratorium Teknologi Mineral dan Batu Bara.

Analisis Karakteristik Awal

Tujuan analisis karakteristik awal ini adalah untuk menentukan limbah yang akan dijadikan sebagai pengganti binder ataupun pengganti agregat halus berdasarkan hasil pemeriksaan oksida logam. Selain itu, penelitian ini juga untuk mengukur parameter berbahaya dan beracun dari sampel.

Menurut ASTM C618, apabila hasil kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ (pozzolan kelas F), maka limbah tersebut dapat dijadikan sebagai bahan pencampur semen (*binder*).

Sedangkan apabila kandungan ketiga senyawa tersebut kurang dari 50%, maka dapat dijadikan sebagai agregat halus. Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap :

- Total logam (berdasarkan Kep-04/Bapedal/09/1995), yaitu Ag, As, Ba, Cd, Cu, Co, Pb, Hg, Mo, Ni, Sn, Se, dan Zn (AAS).
- Oksida logam, yaitu SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, LOI (Gravimetri).

Analisis Karakteristik Lanjutan

Analisis ini merupakan analisis laboratorium mengenai karakteristik limbah *spent catalyst* berdasarkan parameter fisik dan kimia sebagai informasi pendukung dalam melakukan solidifikasi dan sebagai kontrol terhadap mutu bahan pencampur. Pemeriksaan ini meliputi pemeriksaan kadar air dan kadar kering (ASTM D2216-98), kadar volatile dan kadar abu (gravimetri), analisa ayakan, pH, specific gravity, kadar lumpur (ASTM C128-93), berat volume padat rata-rata, dan volume berat gembur rata-rata.

Perencanaan Campuran

Penelitian Bagampadde *et al.* (1999) menunjukkan bahwa slag dalam batu gamping yang dimodifikasi dengan polimer akan memiliki ketahanan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan material lain dalam pembuatan beton dapat meningkatkan kekuatannya. Campuran direncanakan terdiri dari beberapa variasi untuk mendapatkan komposisi yang paling tepat antara limbah *spent catalyst* sebagai pengganti binder dan pasir serta komposisi limbah *spent catalyst* sebagai pengganti pasir dengan komposisi maksimal yang dapat menghasilkan kuat tekan yang masuk ke dalam baku mutu. Kekuatan beton dapat ditingkatkan dengan penggantian pasir sebesar 15-30% (Qasrawi *et al.*, 2009). Menurut Maslehuddin *et al.* (1999), penggantian agregat dengan batu kapur memiliki kuat tekan lebih kecil dibanding menggunakan slag. Rasio pencampuran semen : pasir untuk paving block adalah 1:3 karena angka ini dapat memberikan kuat tekan yang melebihi baku mutu yang ditetapkan (Susilowati, 2004 dalam Primanda, 2008).

Pelaksanaan Solidifikasi

Benda uji dicetak dalam bentuk kubus dengan panjang tiap sisinya 5 cm yang merupakan ukuran standar (Sugiri, 2002). rosedur pencampuran dilakukan sesuai dengan prosedur dalam ASTM 109. Masing-masing proporsi dicetak sebanyak 8 buah yang nantinya digunakan untuk pemeriksaan kuat tekan untuk hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21, dan hari ke-28 secara duplo, 2 buah untuk uji durabilitas secara duplo, 2 buah untuk uji absorpsi secara duplo, dan 2 buah untuk uji TCLP secara duplo. Detail jumlah kebutuhan sampel ditunjukkan pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1. Jumlah benda uji solidifikasi

Variasi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uji Produk	Persentase Limbah Pengganti Binder						Pengganti Agregat Halus				
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	40%	60%	80%
Uji kuat tekan (buah)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Uji Durabilitas (buah)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Uji Absorpsi (buah)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Uji TCLP (buah)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total benda uji (buah)							154				

Pengujian Produk Solidifikasi

Hasil produk solidifikasi perlu diuji agar dapat diketahui kelayakannya dan dapat diperoleh campuran mortar yang terbaik untuk diaplikasikan. Pengujian produk solidifikasi meliputi 3 uji, yaitu :

1. Pengujian Kuat Tekan
Pengujian ini mengacu pada metode ASTM C109-01/C39-86 dan menggunakan alat UCS (*Unconfined Compressive Strength*). Pengujian dilakukan sebanyak 4 kali pada hari yang telah ditentukan.
2. Pengujian Ketahanan terhadap Cuaca Kering dan Basah (Durabilitas)
Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D4843-99. Pengujian dilakukan terhadap masing-masing proporsi benda uji yang memberikan nilai kuat tekan yang memenuhi syarat.
3. Pengujian Penyerapan Air (Absorpsi)
Pengujian absorpsi mengacu pada Standar Industri Indonesia (SII 0819-83) untuk paving block dengan umur perawatan 28 hari.
4. Uji TCLP
Pengujian TCLP ini untuk mengetahui kandungan logam berat pada lindi yang dikeluarkan benda uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Lampiran I PP No.18/1999 jo PP No.85/1995 untuk identifikasi limbah B3, limbah *spent catalyst* masuk ke dalam sumber spesifik dengan Kode D221 (Kilang Minyak dan Gas Bumi).

Analisis Karakteristik Awal Limbah *Spent Catalyst*

Pemeriksaan logam berat dilakukan pada 13 parameter menurut keputusan Bapedal Kep-04/Bapedal/09/1995. Sampel diekstraksi di Laboratorium Buangan Padat dan B3, sedangkan pemeriksaan logam berat dilakukan di Laboratorium TekMIRA. Kadar maksimum menunjukkan penempatan limbah apabila ditimbun di *landfill*. Jika kadar logam limbah lebih besar dari kadar logam kolom A, maka limbah tersebut dapat ditimbun di *landfill* kategori 1. Jika kadar logam limbah berada di antara kadar logam kolom A dan B, maka limbah tersebut dapat ditimbun di *landfill* kategori 2. Jika kadar logam limbah lebih kecil dari kadar logam kolom B, maka limbah dapat ditimbun di *landfill* kategori 3 (Athiyah, 2010).

Berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat bahwa parameter Ag dan Ba tidak tercantum nilainya dalam peraturan tersebut sehingga dianggap limbah *spent catalyst* dapat ditimbun di *landfill* kategori 3. Namun yang perlu diperhatikan adalah sumber limbah tersebut. Apabila limbah tersebut berasal dari sumber spesifik yang ada pada tabel 1 Kep-04/Bapedal/09/1995, maka limbah tersebut harus ditimbun pada *landfill* kategori 1. Oleh karena itu, limbah *spent catalyst* yang berasal dari sumber spesifik harus ditimbun di *landfill* kategori 1 walaupun hasil pemeriksaan terhadap logam beratnya menunjukkan bahwa limbah dapat ditimbun di *landfill* kategori 3. Dari hasil analisis logam tersebut, dapat dilihat bahwa logam Ag, Ba, Mo, Sn, dan Se tidak terdeteksi dari limbah. Pada **Tabel 2** dibawah juga dapat dilihat bahwa kandungan logam Ni (nikel) melebihi baku mutu sehingga harus dilakukan uji TCLP untuk variasi terpilih.

Tabel 2. Komposisi logam berat limbah *spent catalyst*

No.	Parameter	Konsentrasi Limbah <i>Spent Catalyst</i> (mg/Kg)	Total Kadar Maksimum (Kep-04/Bapedal/09/1995)	
			Kolom A (mg/Kg)	Kolom B (mg/Kg)
1	Ag (Perak)	-	-	-
2	As (Arsen)	0,5	300	30
3	Ba (Barium)	-	-	-

No.	Parameter	Konsentrasi Limbah <i>Spent Catalyst</i> (mg/Kg)	Total Kadar Maksimum (Kep-04/Bapedal/09/1995)	
			Kolom A (mg/Kg)	Kolom B (mg/Kg)
4	Cd (Kadmium)	1,5	50	5
5	Cu (Tembaga)	60	1.000	100
6	Co (Kobal)	-	500	50
7	Pb (Timbal)	25	3.000	300
8	Hg (Raksa)	0,15	20	2
9	Mo (Molybdenum)	-	400	40
10	Ni (Nikel)	2505	1.000	100
11	Sn (Timah)	-	500	50
12	Se (Selenium)	-	100	10
13	Zn (Seng)	97,5	5.000	500

Sama halnya dengan pemeriksaan logam berat, sampel limbah *spent catalyst* diperiksa kandungan oksida logamnya dan dapat dilihat pada **Tabel 3**. Keberadaan oksida ini akan banyak mempengaruhi kekuatan campuran karena unsur yang mengandung silikat dan aluminat mempunyai kecenderungan sifat pozzolan yang dapat mengikat agregat sehingga dapat memperbesar ikatan terhadap mortar (Malviya *et al*, 2006).

Tabel 3. Hasil oksida logam limbah *spent catalyst*

No.	Parameter	Persentase (%) Limbah <i>Spent Catalyst</i>	Kriteria ASTM C-618	
			Kelas C (%)	Kelas F (%)
1	SiO ₂	43,3	-	-
2	Al ₂ O ₃	43,8	-	-
3	Fe ₂ O ₃	0,58	-	-
Total SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃		87,68	Min. 50	Min. 70
4	K ₂ O	0,17	1,5	1,5
5	Na ₂ O	0,93	1,5	1,5
6	CaO	0,21	-	-
7	MgO	0,091	5	5
8	TiO ₂	0,41	-	-
9	P ₂ O ₅	-	-	-
10	LOI	0,94	6	6

Kandungan LOI (*Loss In Ignition*) yang terdapat pada limbah telah memenuhi persyaratan ASTM C-618, yaitu sebesar 6. LOI memiliki rata-rata yang sama dengan kadar karbon, sehingga kadar karbon biasanya tidak diukur secara langsung (Agnes, 2005). Kandungan LOI yang bernilai 0,94 mengindikasikan kecilnya kehadiran karbon dalam sampel sehingga tidak diperlukan adanya pemeriksaan kadar karbon pada sampel. Kandungan karbon yang tinggi akan mempengaruhi reaksi hidrasi serta mengurangi kelecakan dan meningkatkan kebutuhan air yang digunakan dalam beton (Atici dan Ersoy, 2008). Hasil analisis saringan dapat dilihat pada **Tabel 4** di bawah ini.

Tabel 4. Hasil analisis saringan pada limbah *spent catalyst*

Nomor Saringan	Ukuran Lubang (mm)	Massa Tertahan (gr)	% Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Kumulatif Lolos	ASTM C33-90	
						batas bawah	batas atas
	9,5	0	0	0	100	100	100
4	4,75	0	0	0	100	95	100
8	2,36	0	0	0	100	80	100
16	1,18	0	0	0	100	50	85
30	0,6	0	0	0	100	25	60

Nomor Saringan	Ukuran Lubang (mm)	Massa Tertahan (gr)	% Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Kumulatif Lolos	ASTM C33-90	
						batas bawah	batas atas
50	0,3	0,05	0,05	0,05	99,95	10	30
75	0,212	5,22	5,22	5,27	94,68		
100	0,15	3,55	3,55	8,82	85,86	2	10
200	0,075	28,3	28,3	37,12	48,74	0	0
PAN		62,88	62,88	100	0		
Total		100	100	200			
Modulus Kehalusan				2			

Modulus kehalusan limbah *spent catalyst* bernilai 2. Hal ini menunjukkan bahwa limbah ini memiliki gradasi yang sangat halus karena kurang dari rentang yang ditetapkan oleh ASTM C33, yaitu 2,3-3,1. Namun parameter modulus kehalusan ini bukan satu-satunya parameter untuk menentukan baik tidaknya distribusi partikel (Neville, 1995 dalam Winurdiastri, 2005).

Analisis Karakteristik Lanjutan Limbah Spent Catalyst

Analisis karakteristik limbah ini dilakukan pada sampel limbah *spent catalyst*. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Buangan Padat dan B3. Hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**. Hasil dari sampel yang telah diperiksa kadar air dan kadar keringnya menunjukkan hasil bahwa kadar air rata-rata untuk limbah *spent catalyst* adalah 2,59% dan kadar kering rata-ratanya adalah 97,4%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air pada sampel sedikit sehingga tidak perlu adanya pengolahan pendahuluan berupa pengeringan sampel.

Tabel 5. Analisis karakteristik limbah

Parameter	Limbah <i>Spent Catalyst</i>	Satuan
Kadar air (rata-rata)	2,59	%BB
Kadar kering (rata-rata)	97,4	%BB
Kadar volatil (rata-rata)	8,42	%BK
Kadar abu (rata-rata)	91,57	%BK
pH	6,84	

Tabel 6. Analisis karakteristik lanjutan limbah

Parameter	<i>Spent Catalyst</i>	Satuan
Apparent Specific Gravity rata-rata	2,37	Tanpa satuan
Bulk Specific Gravity (kering) rata-rata	2,26	Tanpa satuan
Bulk Specific Gravity (SSD) rata-rata	2,3	Tanpa satuan
Persentase Absorpsi Air rata-rata	2,01	%
Kadar lumpur rata-rata	45,614	%
Berat volume padat rata-rata	0,943	Kg/L
Berat volume gembur rata-rata	0,841	Kg/L

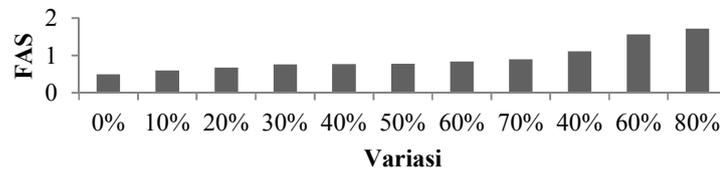
Pelaksanaan Solidifikas

Pelaksanaan campuran dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran *paving block* yang ekonomis dan memenuhi persyaratan kuat tekan, durabilitas, dan absorpsi. Proporsi limbah yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi 8 variasi limbah sebagai pengganti binder, yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, dan 0% sebagai perbandingan data. Untuk proporsi limbah sebagai pengganti agregat halus terbagi menjadi 3 variasi, yaitu 40%, 60%, dan 80%. Detail proporsi limbah dapat dilihat pada **Tabel 7** dibawah ini.

Tabel 7. Berat proporsi campuran

Variasi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Material	Persentase Limbah										
	Pengganti Binder							Pengganti Agregat Halus			
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	40%	60%	80%
Pasir (gr)	225	225	225	225	225	225	225	225	135	90	45
Limbah <i>Spent Catalyst</i> (gr)	0	7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	90	135	180
Semen (gr)	75	67,5	60	52,5	45	37,5	30	22,5	75	75	75
Air (ml)	Ditentukan dengan <i>Flow Test</i>										

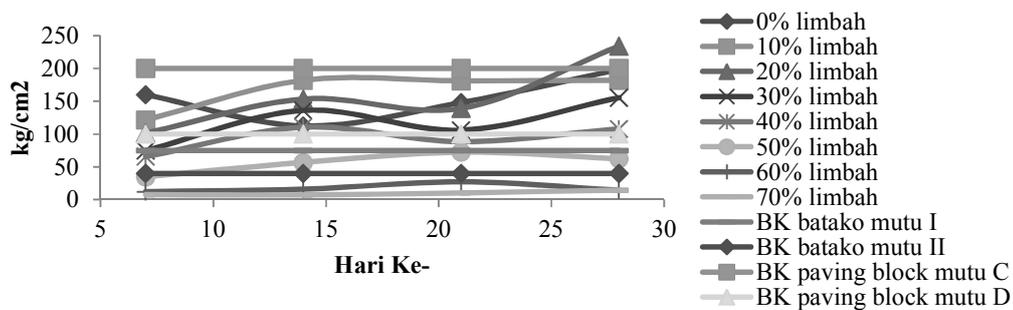
Pengukuran penggunaan air dalam pembuatan campuran mortar dihitung menggunakan alat *flow test* dan dilakukan dengan penambahan laju alir 110 ± 5 mm. Penambahan air pada setiap variasi dapat dilihat pada grafik **Gambar 1** dibawah ini.



Gambar 1. Faktor Air Semen (FAS) setiap variasi

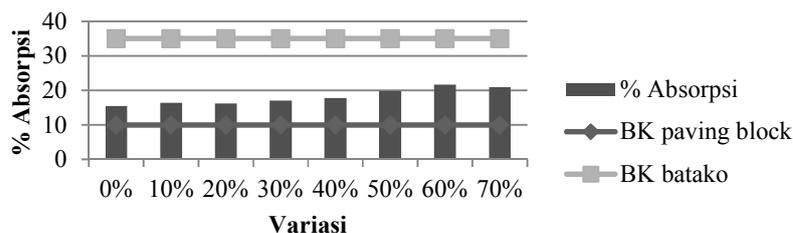
Data hasil pengukuran uji kuat tekan, uji absorpsi, dan uji durabilitas yang didapat adalah data dari variasi 0 sampai 7, dimana limbah *spent catalyst* berfungsi sebagai pengganti binder (semen). Sedangkan hasil uji produk untuk variasi 8-10 belum dilakukan karena sample belum mencapai umur 28 hari.

Data hasil uji kuat tekan variasi 0-7 beserta batas baku mutu yang disyaratkan dapat dilihat pada grafik **Gambar 2**.



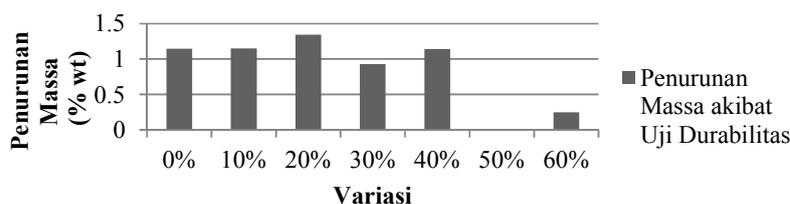
Gambar 2. Hasil uji kuat tekan campuran

Hasil pengukuran uji absorpsi terhadap variasi 0-7 dapat dilihat pada grafik **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil uji absorpsi variasi 0-7

Hasil pengukuran uji durabilitas terhadap variasi 0-6 dapat dilihat pada grafik Gambar 4. Untuk variasi 7 tidak didapat hasil uji durabilitas dikarenakan sample tidak tahan terhadap uji tersebut dan hancur setelah direndam dan dipanaskan selama 1 siklus.



Gambar 4. Hasil uji durabilitas variasi 0-6

Berdasarkan hasil uji kuat tekan, uji absorpsi, dan uji durabilitas terhadap variasi campuran mortar dengan limbah *spent catalyst* sebagai pengganti binder, dapat dicocokkan hasilnya dengan baku mutu kuat tekan batako dan paving block, serta baku mutu persentase absorpsi air untuk *paving block* yang tidak lebih dari 10% dan batako yang tidak lebih dari 35%. Variasi 0 tidak ikut dicocokkan karena variasi ini hanya merupakan pembandingan tanpa ada campuran limbah sama sekali. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8. Variasi campuran yang memenuhi syarat

	Baku Mutu Batako			Baku Mutu Paving Block			
	Mutu I (min. 70 kg/cm ²)	Mutu II (min. 40 kg/cm ²)	Mutu III (min. 25 kg/cm ²)	Mutu A (min. 400 kg/cm ²)	Mutu B (min. 300 kg/cm ²)	Mutu C (min. 200 kg/cm ²)	Mutu D (min. 100 kg/cm ²)
Variasi	1, 2, 3, 4	5	-	-	-	2	1, 3, 4

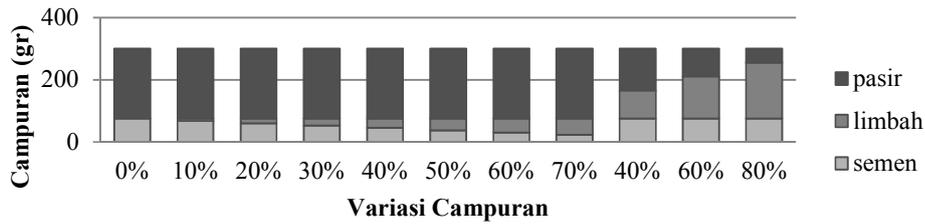
Berdasarkan hasil uji absorpsi, variasi yang memenuhi syarat adalah variasi 1, 2, 3, dan 4 sebagai bahan campuran batako mutu I, serta variasi 5 sebagai bahan campuran batako mutu II. Hal ini disebabkan variasi yang lainnya memiliki nilai % absorpsi berkisar antara 15-21%, sehingga tidak memenuhi syarat persentase absorpsi untuk bahan campuran *paving block*.

Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan terhadap limbah dalam pemanfaatan sebagai bahan solidifikasi. Selain ditinjau dari sisi teknis, kelayakan secara ekonomi pembuatan beton dari kedua limbah ini juga perlu diketahui untuk menentukan efektifitas kegiatan produksi.

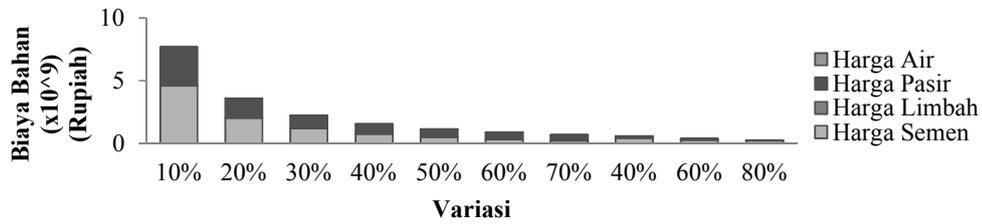
Analisis ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui variasi mana yang memenuhi baik dari segi teknik maupun dari segi ekonomis. Setiap variasi campuran limbah akan menghasilkan jumlah unit yang berbeda-beda dikarenakan jumlah limbah yang dikeluarkan oleh perusahaan

selalu sama yaitu 510 ton per bulan, namun proporsinya dalam setiap variasi berbeda seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 5** di bawah ini.

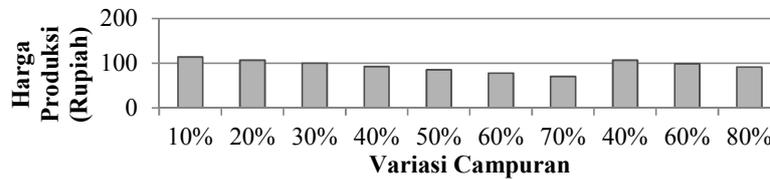


Gambar 5. Massa campuran bahan baku dalam setiap variasi

Biaya produksi tiap unit digunakan untuk mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi barang tersebut. Biaya produksi mencakup biaya penggunaan alat, biaya pekerja langsung, biaya bahan baku dan biaya perawatan (*maintenance*). Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan biaya yang dikeluarkan untuk masing-masing bahan baku yang digunakan dalam setiap variasi produksi berdasarkan volume limbah 510 ton per bulan (**Gambar 6**) dan juga harga produksi total masing-masing variasi produksi per satuan unit (**Gambar 7**).

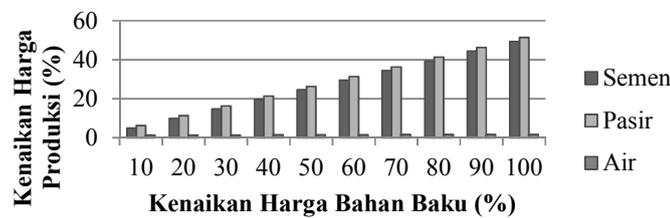


Gambar 6. Biaya bahan baku masing-masing variasi per bulan



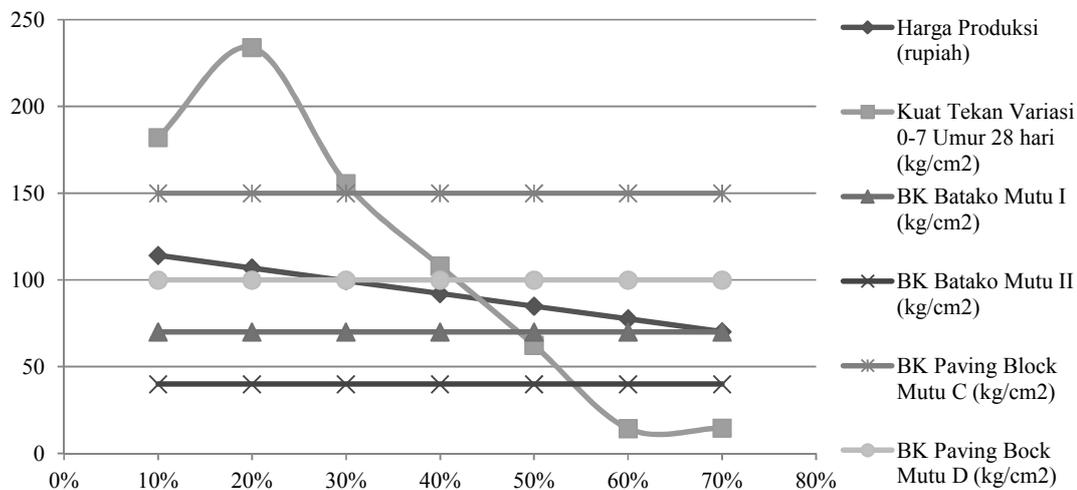
Gambar 7. Harga produksi per satuan unit tiap variasi

Kenaikan harga produksi unit setiap variasinya dipengaruhi oleh kenaikan harga dari bahan baku penyusun campuran. Dalam penelitian ini juga dianalisis bahan baku yang paling mempengaruhi perubahan harga produksi. Dalam pembuatan campuran ini, bahan baku semen dan pasir berpengaruh besar terhadap harga produksi seperti yang terlihat pada grafik **Gambar 8**.



Gambar 8. Pengaruh kenaikan harga bahan baku terhadap kenaikan harga produksi

Hasil perbandingan data hasil uji kuat tekan variasi 0-7 pada umur sample 28 hari, baku mutu kuat tekan, dan juga harga produksi per satuan unit dapat dilihat pada grafik **Gambar 9** di bawah ini.



Gambar 9. Perbandingan harga produksi, kuat tekan variasi 0-7, dan batas kuat tekan tiap mutu

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji karakteristik limbah *spent catalyst* dapat ditentukan bahwa limbah tersebut dapat digunakan sebagai pengganti binder maupun agregat halus dalam campuran mortar. Dalam penelitian ini, campuran dibagi menjadi 11 variasi. Variasi yang memenuhi syarat untuk batako mutu I adalah variasi dengan kandungan limbah 10%, 20%, 30%, dan 40%. Variasi yang memenuhi syarat untuk batako mutu II adalah variasi dengan kandungan limbah 50%. Variasi yang memenuhi syarat kuat tekan untuk *paving block* mutu C adalah variasi 20% dan variasi yang memenuhi syarat kuat tekan untuk *paving block* mutu D adalah variasi 10%, 30%, dan 40%. Kenaikan harga bahan baku campuran mempengaruhi kenaikan harga produksi dan yang berpengaruh besar adalah kenaikan harga semen dan pasir.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of ASTM Standard, volume 04.02. *Concrete and Agregates*. 1997
- Atiyah, Rahmi. 2010. *Pemanfaatan Limbah Pasir Silika dan Slag sebagai Bahan Solidifikasi*. Laporan Tugas Akhir, ITB. Bandung
- Agnes. 2005. *Pemanfaatan Fly Ash pada Pembakaran Batu Bara di Industri Tekstil melalui Proses Solidifikasi*. Laporan Tugas Akhir, ITB. Bandung.
- Damanhuri, Enri. 2004. *Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*. Diktat Kuliah Jurusan Teknik Lingkungan, ITB. Bandung
- Primanda, Adisti. 2008. *Kajian Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Pabrik Bearing*. Laporan Tugas Akhir, ITB. Bandung.
- Bagampadde U., 1999, *Optimization of Steel Slag Aggregates for Bituminous Mixed in Saudi Arabia*, Journal of Materials in Civil Engineering. Vol 11.Issue 1.
- Sugiri, Saptahari. 2002. *Teknologi Beton*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan. 2005. Vol I. No. 1.
- Sugiri, Saptahari. 2002. *Pengenalan Rekayasa dan Bahan Konstruksi*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan. Penerbit ITB. Bandung.
- Keputusan Kepala BAPEDAL No. : KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Berbahaya dan Beracun.

- Maslehuddin M, Alfarabi M, Shammem M, Ibrahim M, dan Barry M, 2003, *Comparison of Properties of Steel Slag and Crusher Limestone Aggregate Concrete*, Construction and Building Materials, Vol 17: pp. 105-112.
- Malviya R dan Chaudhary R., 2006, *Factor Affecting Hazardous Waste Solidification/Stabilization: A review*, Journal of Hazardous Waste, B137: pp. 267-276.
- Winurdiastri, Rika. 2005. *Tugas Akhir Studi Karakteristik Lumpur Tsunami dan Kemungkinan Pemanfaatan Sebagai Bahan Bangunan (Studi kasus : Lumpur dari Krueng Cut, Aceh Besar)*. Teknik Lingkungan ITB.
- Atici U dan Ersoy A., 2008, *Evaluation of Destruction Spesific Energy of Fly Ash and Slag Admixer Concrete Interlocking Paving Block (ICPB)*, Construction and Building Materials, Vol 22: pp.1507-1514.
- Qasrawi Hisham, Shalabi Faisal, dan Asi Ibrahim, 2009, *Use of Low CaO Unprocessed Steel Slag in Concrete as Fine Aggregate*, Construction and Building Materials, Vol 23: pp. 1118-1125.