

PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO UNTUK MENGURANGI PENGGUNAAN SEMEN

Naskah diterima Tgl 13 Juni, Naskah disetujui Tgl 30 November 2012

Diah Novianti, (Peneliti pada Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Timur)
Jl. Gayung Kebonsari 56 Surabaya telp. 031 8290738 HP. 085645136062
Email : diah_batekperkim@yahoo.co.id

ABSTRAK

Material semburan lumpur yang terdiri dari bahan padat dan cair semakin menumpuk di lokasi kolam penampungan sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi volume material tersebut. Salah satu upaya pemanfaatan lumpur sidoarjo sebagai material penyusun bahan bangunan misalnya untuk bata merah, keramik dan batako, merupakan salah satu cara yang bisa ditempuh untuk mengurangi volume tumpukan. Dengan melakukan pembuatan benda uji menggunakan spesi berbahan lumpur lapindo kering dan diuji kuat tekannya diharapkan akan diketahui potensi lumpur lapindo untuk mengganti sebagian penggunaan semen pada pembuatan bahan bangunan. Nilai lebih yang akan didapatkan antara lain adalah membangkitkan kegiatan perekonomian penduduk dan dapat mengurangi dampak lingkungan akibat semburan lumpur maupun galian tanah liat untuk batako.

Kata kunci : lumpur sidoarjo, dampak lingkungan, batako

THE USING OF LAPINDO'S MUD TO MINIMIZE THE USING OF CEMENT

ABSTRACT

The mud volcano that consists of liquid and solid material had been more and more along the time in the ponds, it needs some ways to reduce the volume. One of ways by using the material as one of the material building is one of the solution that may be used to reduce the volume. By making samples that use lapindo muds, tested the stress hoped we will meet the potential value as partially substitution material of building materials. The additional values of this way include generating of the economical activity and also reducing environmental impacts that caused by the exploitation of the mud and also the clays as material of hollow bricks.

Keywords: mud volcano, environmental impacts, hollow brick

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa hasil dan kesimpulan yang dapat ditarik dari beberapa penelitian tentang pemanfaatan lumpur lapindo yang telah dilakukan antara lain menyatakan bahwa dari hasil uji terhadap beberapa sampel lumpur yang diambil dari beberapa lokasi pengumpulan material semburan diketahui bahwa lumpur Sidoarjo banyak mengandung Alumina (Al_2O_3) dan Silika (Si_2O_3), sehingga diduga bahwa lumpur tersebut memiliki beberapa kandungan senyawa sebagaimana yang terdapat semen. Dari penelitian lainnya diperoleh hasil bahwa material lumpur

Sidoarjo bisa dimanfaatkan dalam pembuatan paving pada ukuran butir dan metode curing tertentu serta dapat mengurangi penggunaan PC hingga 60%. Disamping itu telah diadakan uji coba pemanfaatan lumpur Lapindo Sidoarjo dengan ditambah abu batu bara (*fly ash*) dan dibakar dengan suhu tinggi ($>1.000^{\circ}C$) dihasilkan batu bata berkualitas dan aman dari bau belerang di Desa Mindi, Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo dan baru berhasil 70%.

Berdasarkan beberapa hasil yang telah dilakukan tersebut maka dinilai perlu untuk dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan pemanfaatan material lumpur sidoarjo lapindo sebagai bahan pengganti (substitusi) penggunaan

semen pada beberapa bagian bangunan. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa uji coba pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai bahan campuran spesi.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana komposisi terbaik mortar yang menggunakan lumpur Sidoarjo yang berperan mengurangi penggunaan semen portland.
2. Bagaimana pengaruh proses hidrasi dalam campuran spesi yang menggunakan Lumpur Sidoarjo untuk mengurangi penggunaan semen portland

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menguji potensi Lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi semen (PC).
2. Memanfaatkan Lumpur Sidoarjo sebagai pengganti Semen (PC) dalam bahan bangunan spesi dan batako.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Diketuinya potensi Lumpur Sidoarjo untuk curing dalam campuran spesi dan substitusi semen (PC).
2. Termanfaatkannya Lumpur Sidoarjo sebagai bahan pengganti/substitusi semen (PC).

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup Penelitian Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo sebagai Pengganti Semen meliputi:

1. Pengambilan sampel Lumpur Sidoarjo.
2. Penyiapan sampel Lumpur Sidoarjo sebagai bahan substitusi semen.
3. Uji kekuatan potensi Lumpur Sidoarjo dengan variabel curing (perawatan) dan persentase pengurangan semen oleh Lumpur.

1.6. Kerangka Konsep

Spesi atau mortar (campuran antara pasir dengan semen) dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dalam konstruksi bangunan, antara lain sebagai bahan plesteran untuk menutup konstruksi dinding maupun sebagai komposisi batako. Mortar yang diperlakukan dengan pola curing tanpa penyiraman sama sekali maka spesi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai plesteran pada dinding di dalam ruangan, sedangkan apabila suatu mortar dengan pola curing perendaman setelah beberapa hari diangin-angin dan disiram maka spesi tersebut dapat

dimanfaatkan sebagai plesteran pada dinding saluran air. Apabila suatu spesi dengan pola curing diangin-angin dan disiram selama beberapa hari maka kemungkinan spesi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyusun batako.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sifat dan Pemanfaatan Lumpur Lapindo

Beberapa kesimpulan tentang lumpur Sidoarjo adalah lumpur dan air lumpur tidak berbahaya, karena hasil analisis di laboratorium menunjukkan bahwa unsur-unsur di dalam lumpur dan air lumpur berada di bawah baku mutu yang ditetapkan Pemerintah. (Pudjiastuti, 2006 dalam Ediar Usman, dkk, 2006)

Hasil pengujian terhadap kandungan mineral material buangan lumpur Sidoarjo di Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto menunjukkan bahwa lumpur tersebut mengandung antara lain Quartz (SiO_2), Halite, Syn (NaCl), Iron Silicide (FeSi), Alumunium Oxide (Al_2O_3), Calcium Alumunium Fluoride (CaAlF_3), Magnesium Silicate Hydroxide ($\text{Mg}_3\text{Si}_5(\text{OH})_4$).

Material paving merupakan jenis material komposit seperti beton, yang terdiri dari matrik (*material paste*) dan agregat sebagai penguat. Material lumpur yang dianalisa kandungan senyawa (*compound*) dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) menunjukkan banyak kandungan material oksida dari alumunium, besi dan silika. Material tersebut dapat berfungsi sebagai penguat dari matrik yang terbuat dari semen pada material paving. Material komposit mempunyai persyaratan harus terbentuk ikatan antar permukaan (*interfacial bounding*) antara partikel penguat (butiran lumpur) terhadap matrik. Material lumpur yang banyak mengandung unsur silikat dan alumina, sangat membantu dalam proses interaksi antara partikel lumpur dengan material semen yang banyak mengandung senyawa yang sama.

Fungsi dan peran lumpur ini pada pembuatan paving dapat dikriteriakan dalam dua fungsi yaitu, sebagai suplemen dari material semen

atau sebagai penguat halus (*fine reinforcement*). Berdasarkan hasil analisa X-RD (*X-Ray Diffraction*) lumpur Sidoarjo banyak mengandung material alumina dan silika, dimana alumina dapat berperan sebagai pengikat seperti semen sedangkan silika berperan sebagai pasir (*fine aggregate*). Dua peran yang berbeda dari material lumpur akan dapat berkontribusi dalam peranannya sebagai material suplemen semen dan juga sebagai penguat seperti pada material mortar. Masa pembentukan kekuatan pada paving blok yang menggunakan lumpur Sidoarjo sebagai pengganti sebagian (*partially substitution*) PC adalah lebih panjang di bandingkan dengan paving blok yang tidak menggunakan lumpur Sidoarjo.

Darminto, 2011, menyimpulkan dari hasil penelitian semen lumpur Sidoarjo tentang kecilnya perbedaan yang ditunjukkan antara adonan semen lumpur dengan adonan semen komersial sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1. berikut.

Tabel 1. Perbandingan Karakter antara Adonan semen lumpur dengan Adonan semen komersial

NO	KARAKTERISASI	ADONAN SEMEN	ADONAN SEMEN KOMERSIAL
1	Komposisi	Batu kapur, lumpur, bahan aditif lainnya	Batu kapur, tanah liat, bahan aditif lainnya
2	Formasi Terak Semen	Sampai suhu 1200 ^o C	Sampai suhu 1200 ^o C
3	Kandungan Fasa (Utama)	Larinite (CaSiO ⁴) : 59%	Larinite (CaSiO ⁴) : 61%

Sumber : Hasil Penelitian Darminto, ITS, 2011

2.2. Semen

Semen Portland (SP) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling halus klinker, yang terdiri terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (PUBI-1986). Kandungan terbesar dalam semen adalah kandungan CaO yang memiliki fungsi dalam proses perekatan, sedangkan SiO₂ berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), Al₂O₃ memiliki fungsi dalam mempercepat proses pengerasan. Sedangkan Fe₂O₃ memiliki suhu leleh yang rendah dan menyebabkannya sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran klinker.

Meski bahan bakunya sama, "dosis" semen sebenarnya bisa disesuaikan dengan beragam kebutuhan. Misalnya, jika kadar aluminanya

diperbanyak, kolaborasi dengan bahan bangunan lainnya bisa menghasilkan bahan tahan api. Ini karena sifat alumina yang tahan terhadap suhu tinggi. Ada juga semen yang cocok buat mengecor karena campurannya bisa mengisi pori-pori bagian yang hendak diperkuat.

2.3. Perawatan Beton (Curing)

Perawatan (*curing*) mempunyai pengaruh penting terhadap sifat selama proses pengerasan beton, akan tetapi cara terbaik untuk menjamin kesempurnaan adalah melalui inspeksi (pemeriksaan). Setelah adukan beton dituangkan, kecukupan kandungan air dan temperatur (antara 10–25°C) harus dijaga. Proses inilah yang disebut dengan *curing*. Ketepatan proses *curing* sangat penting terhadap kualitas beton.

Sehari setelah pengecoran merupakan saat yang terpenting untuk periode sesudahnya. Oleh sebab itu diperlukan perawatan dengan air sehingga untuk jangka panjang, kualitas beton, baik kekuatan maupun kekedapan airnya, dapat lebih baik. Perawatan dengan cara membasahi menghasilkan beton yang terbaik. Semakin erat pendekatan kondisi perawatan, semakin kuat beton yang akan dihasilkan.

Proses penyiraman air pada saat *curing* secara terus menerus tidak selalu merupakan suatu cara yang praktis, dan akan lebih baik bila disokong dengan penerapan cara-cara lain.

Curing sangat berpengaruh terhadap karakter beton, seperti misalnya keawetan (*durabilitas*), kekuatan, ikatan air, ketahanan terhadap abrasi, stabilitas volume dan ketahanan terhadap pembekuan. Peningkatan kekuatan permukaan dapat menurun secara signifikan apabila *curing* juga mengalami penurunan.

2.4. Batako

Batako merupakan bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen portland dan air dengan perbandingan 1 semen : 4 pasir. Batako difokuskan sebagai konstruksi dinding bangunan non struktural. Bentuk dari batako itu sendiri terdiri dari dua jenis, yaitu batako yang berlubang (*hollow block*) dan batako yang tidak berlubang (*solid block*) serta mempunyai ukuran yang bervariasi. (Wijanarko, W.2008)

Batako diklasifikasikan menjadi dua golongan

yaitu batako normal dan batako ringan. Batako normal tergolong beton yang memiliki densitas $2200 - 2400 \text{ kg/m}^3$ dan kekuatannya tergantung komposisi campuran beton (*mix design*). Sedangkan batako ringan merupakan beton yang memiliki densitas $< 1800 \text{ kg/m}^3$, kekuatannya biasanya disesuaikan pada penggunaan dan pencampuran bahan bakunya (*mix design*). (Simbolon, T, 2009).

Persyaratan batako menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI)-1982 pasal 6 yang dikutip oleh Wijanarko, W. 2008 antara lain "permukaan batako harus mulus, berumur minimal satu bulan, pada waktu pemasangan harus sudah kering, berukuran panjang $\pm 400 \text{ mm}$, lebar $\pm 200 \text{ mm}$, dan tebal $\pm 100 - 200 \text{ mm}$, kadar air 25-35%, dengan kuat tekan 2 - 7 MPa". Hasil penelitian laboratorium yang pernah dilakukan untuk batako berumur 28 hari diperoleh: berat fisik rata-rata sebesar 12,138 kg, densitas rata-rata sebesar $2,118 \text{ gr/cm}^3$, penyerapan air sebesar 12,876%, dan kuat tekan rata-rata sebesar 1,97 Mpa. (Darmono, 2009)

Menurut SII yang dikutip oleh Darmono, yang mempengaruhi mutu batako adalah: faktor air semen (f.a.s), umur batako, dan kepadatan batako. Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran adukan. Mutu batako (kuat tekan) batako bertambah tinggi dengan bertambahnya umur batako. Oleh karena itu sebagai standar kekuatan batako dipakai kekuatan pada umur batako 28 hari.

Kekuatan batako juga dipengaruhi oleh tingkat kepadatannya. Dalam pembuatan batako diusahakan campuran dibuat sepadat mungkin. Hal ini memungkinkan untuk menjadikan bahan semakin mengikat keras dengan adanya kepadatan yang lebih, serta untuk membantu merekatnya bahan pembuat batako dengan semen yang dibantu oleh air.

Menurut Heinz Frick (2001), ada 6 kelebihan batako jika dibandingkan dengan bata merah per m² dinding/tembok, yaitu:

1. Lebih sedikit jumlah batako yang digunakan;
2. Terjadi penghematan mortar sampai 70%;
3. Berat pasangan 50% lebih ringan sehingga tidak diperlukan pondasi bangunan yang tidak terlalu dalam;
4. Bentuk cetakan yang beraneka ragam, memungkinkan untuk dibuat batako dengan variasi-variasi yang menarik;

5. Jika kualitas batako mengijinkan, dinding/tembok tidak perlu diplesir karena sudah cukup menarik;
6. Tidak perlu dibakar.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif yang akan menunjukkan bagaimana kualitas spesi yang diuji melalui uji kuat tekan benda uji. Benda uji merupakan beberapa komposisi spesi yang terdiri atas pasir, semen dan air dengan menggunakan perbandingan dalam massa (fraksi massa). Variabel tetapnya adalah rasio semen dan air (*cement water ratio*) dan ukuran butir lumpur sidoarjo kering sedangkan variabel tidak tetapnya adalah prosentase pengurangan semen dalam spesi dan metode perawatan (*curing*) dan umur pengujian.

Hasil uji kuat tekan akan dianalisa dengan metode statistik untuk dapat diketahui secara integrasi beberapa variabel tidak tetap yang dapat menghasilkan kualitas spesi yang terbaik sehingga dapat diketahui bagaimana dan dimana pemanfaatan spesi tersebut dapat digunakan.

Metode pengeringan lumpur sidoarjo yang akan digunakan pada penelitian ini adalah lumpur yang dikeringkan secara alami dengan dibiarkan di tempat terbuka sehingga menerima panas matahari secara langsung yang dapat menurunkan kandungan air dalam lumpur. Komposisi penggunaan lumpur untuk mengganti sebagian atau keseluruhan penggunaan semen meliputi 0%, 10%, 20%, 30%, 50% dan 60%. Sedangkan metode perawatan (*curing*) adalah dengan metode pengeringan dan perendaman.

3.2. Teknik Pengambilan dan Pengumpulan Data

Penelitian menggunakan instrumen penelitian berupa serangkaian pengujian yang meliputi pengujian material lumpur dan pengujian kuat tekan benda uji yang dibuat dalam beberapa jenis. Penggolongan jenis benda uji berdasarkan pada variabel tidak tetap yaitu komposisi pemanfaatan butiran lumpur sidoarjo kering terkait dengan pengurangan semen pada pembuatan spesi (mortar) dan pola perawatan termasuk umur uji.

Dari hasil penelitian ini akan dapat diketahui berapa persen pengurangan semen oleh serbuk

lumpur sidoarjo kering serta bagaimana pola perawatan yang dapat menghasilkan suatu spesi dan pada umur berapa spesi/ mortar mempunyai kualitas kuat tekan lebih baik dibanding dengan spesi yang tanpa menggunakan Lumpur Sidoarjo.

3.3. Analisa Data

Data yang dikumpulkan dari hasil uji kuat tekan benda uji untuk mengetahui mutu mortar akan diuji dengan metode statistik dengan *software minitabs* untuk mengetahui validitas benda uji dan menyimpulkan komposisi mortar mana yang sesuai dengan penggunaannya. Sedangkan dari data sekunder yang dikumpulkan akan membantu memperkuat kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN TEMUAN PENELITIAN

4.1. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji berdasarkan *American Standard Testing and Material (ASTM) C 780-91 Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry* tentang benda uji mortar yaitu dengan bentuk silinder 50,8 x 101,6 mm atau 7,62 x 15,24 mm. Pada penelitian ini menggunakan silinder ukuran 50,8 x 101,6 mm. Untuk masing-masing komposisi dan waktu uji dibuat 3 (tiga) sampel.

Benda uji dibuat dalam beberapa komposisi pengurangan semen, yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 50% dan 60%. Lumpur Lapindo kering dihaluskan kemudian disaring dengan ayakan Nomor 100 standar ASTM, yang digunakan adalah lumpur kering yang lolos saringan nomor 100. Sedangkan pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan nomor 16. Perbandingan air dengan semen sebesar 0,625. Pengujian dilakukan pada hari ke-14, 21, 28 dan 35 dan pola curing yang dilakukan adalah dibiarkan hingga waktu uji, direndam pada hari

kelima dan diangkat sehari sebelum waktu pengujian serta perendaman pada hari ketujuh dan diangkat sehari sebelum waktu pengujian.



Gambar 1. Pembuatan benda uji

Berdasarkan hasil uji kandungan unsur lumpur lapindo yang baru dilakukan diketahui bahwa kandungan calsiun pada lumpur sangat kecil sehingga perlu dibuat benda uji lagi dengan menambahkan kapur bubuk. Pada pembuatan benda uji ini dilakukan dengan mengurangi penggunaan semen sebesar 10%, 20%, 30%, 50% dan penambahan kapur sebanyak 20%, 30% dan 40% dari berat lumpur lapindo. Pola curing yang digunakan 2 (dua) macam yaitu dibiarkan dan direndam pada hari kelima kemudian diangkat sehari sebelum waktu pengujian. Pengujian dilakukan pada hari ke-14, 21 dan 28.

4.2. Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kandungan unsur sampel lumpur sidoarjo. Pada pengujian ini diambil 3 (tiga) kondisi lumpur sidoarjo, yaitu dalam kondisi asli sebagaimana saat diambil dari kolam penampungan (*pond*), sampel lumpur yang dikeringkan secara alami dan sampel lumpur yang dikeringkan melalui proses pembakaran. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada sampel lumpur dalam beberapa kondisi sebagaimana uraian tersebut. Pengujian dilakukan dengan metode XRF (*X-Ray Fluoresence*). Hasil uji laboratorium dengan metoda XRF ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Kandungan senyawa Oksida pada Lumpur Sidoarjo

No. Sampel	HASIL UJI KANDUNGAN LUMPUR SIDOARJO (DALAM BPJ/ppm)											
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	BaO	ZnO	CuO	ZrO ₂
1	9	18	1,3	0,9	3,06	56,52	1,02	9,12	0,2	0,11	0,32	0,18
2	5,5	30,9	1,6	4,54	2,79	4,29	0,65	8,47	0,2	0,14	0,26	0,32
3	0,7	3,1	0,7	0,41	8,4	82,71	0,56	2,2	-	0,09	0,08	0,02

Keterangan Nomor sampel 1 : sampel lumpur dari kolam penampungan lumpur (*pond*)
 2 : sampel lumpur dikeringkan dengan pembakaran
 3 : sampel lumpur dikeringkan secara alami

Disamping itu pada penelitian ini dilakukan pula uji kuat tekan untuk mengetahui bagaimana perbedaan pada kualitas mortar pada beberapa kondisi curing dan komposisi campuran.

4.3. Analisis Kimia

Dari hasil uji analisa kandungan senyawa oksida yang terkandung dalam Lumpur Sidoarjo dengan metoda XRF (*X-Ray Fluoresence*) pada tahun 2006, dan pada pelaksanaan penelitian ini (tahun 2011), diketahui adanya perbedaan yang cukup signifikan pada kandungan senyawa oksida, terutama Aluminium Oxide (Al_2O_3), Silicon Oxide (SiO_2) dan Iron Oxide (Fe_2O_3). Komposisi senyawa oksida terbesar pada masing-masing sampel lumpur ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Kandungan Senyawa Oksida Sampel Lumpur Sidoarjo

No.	Senyawa Oksida	Kandungan Senyawa Oksida Sampel Lumpur Lapindo Sidoarjo (%)			
		2006 (rata-rata)	Asli dari pond (2011)	Dibakar	Kering
1.	Al_2O_3	23,45	9,00	5,50	0,70
2.	SiO_2	38,56	18,00	30,90	3,10
3.	Fe_2O_3	4,00	56,52	41,29	82,71

Dari tabel 3. dapat dilihat bahwa rata-rata kandungan senyawa oksida yang terbesar pada pengujian tahun 2006 adalah SiO_2 dan Al_2O_3 , sedangkan hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan kandungan terbesar adalah Fe_2O_3 . Perbedaan kandungan senyawa oksida ini akan berpengaruh pada pemanfaatan lumpur sidoarjo, sehingga diperlukan penambahan unsur lain, yaitu kapur untuk meningkatkan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang merupakan senyawa utama yang terkandung dalam semen.

4.4. Analisis

Berdasarkan data pengujian didapatkan kuat tekan dari sampel. Sampel ini dibuat dengan mempertimbangkan faktor dari perendaman, pengeringan dan penggunaan lumpur sebagai bahan substitusi (persentase%). Adapun hasil dari pengujian kuat tekan sampel disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. Rekap Data Kuat Tekan Sampel

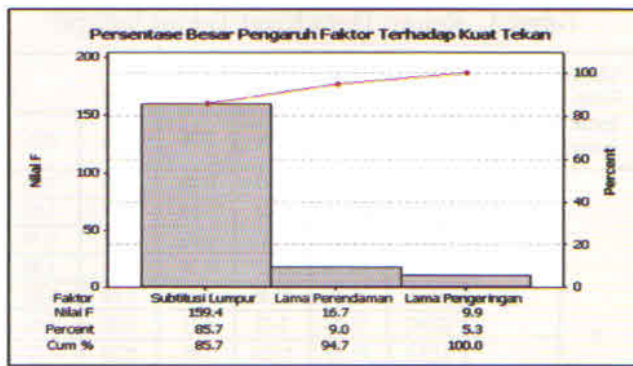
Lama Perendaman (Hari)	Hari Pengeringan (Hari)	Proporsi Lumpur					
		0%	10%	20%	30%	50%	60%
0	14	26.75	12.74	8.92	6.88	5.10	1.78
		21.66	13.76	8.66	6.88	3.57	1.02
		24.20	14.52	11.21	9.43	3.82	0.76
	21	26.75	10.19	17.07	6.37	2.29	1.53
		20.38	11.46	11.46	9.43	1.78	1.27
		22.93	10.19	9.43	6.11	4.08	1.02
	28	17.83	17.32	12.23	5.86	2.29	1.27
		23.95	17.83	11.72	5.10	3.57	1.02
		26.75	18.60	13.25	3.82	5.10	1.53
5	35	19.87	20.89	16.31	5.10	5.10	2.04
		15.29	15.29	25.48	5.35	3.82	1.53
		23.95	12.74	16.56	7.64	4.33	1.02
	14	24.46	3.06	12.99	6.37	5.86	2.55
		28.54	21.40	10.19	5.10	5.10	3.57
		30.57	20.38	9.17	7.90	5.35	3.57
	21	26.75	16.05	15.54	8.92	7.39	3.82
		2.55	17.83	11.46	11.72	8.66	4.33
		27.26	20.89	13.76	10.19	7.90	5.86
7	28	28.03	17.58	20.64	5.35	8.15	5.10
		20.38	23.18	30.57	9.17	11.21	4.59
		29.30	17.83	25.48	11.72	7.64	5.86
	35	30.57	24.20	17.83	8.92	7.13	4.84
		16.56	23.69	15.29	10.70	10.19	4.08
		32.10	17.83	18.09	10.96	9.17	4.08
	14	22.93	16.56	10.96	4.33	5.61	3.31
		23.18	13.76	8.66	7.64	6.37	2.55
		21.66	12.48	8.92	6.37	5.86	3.57
	21	22.93	17.07	22.17	10.19	7.64	3.57
		25.99	11.46	17.07	12.74	8.66	3.82
		22.17	10.70	16.56	10.19	7.13	4.33
	28	40.76	17.83	28.54	8.92	7.90	5.10
		22.93	18.85	17.83	9.68	5.10	4.59
		30.58	13.50	15.29	12.23	8.15	3.82
	35	26.75	16.56	20.64	7.64	14.27	4.08
		34.90	18.09	20.38	10.45	10.45	3.82
		31.85	19.11	17.83	12.74	8.92	4.33

Dari data diatas diolah dengan menggunakan *Design of Experiment (DOE) Factorial* dengan respon berupa kuat tekan sampel dan faktor lama perendaman, lama pengeringan dan persentase substitusi lumpur.

Dengan tingkat kepercayaan 95% ; error (α : 5%), didapatkan bahwa nilai *P value* dari faktor Lama perendaman, Lama pengeringan dan persentase substitusi lumpur memiliki nilai $< \alpha$: 5%).

Nilai ini menunjukkan bahwa faktor Lama perendaman, Lama pengeringan dan persentase substitusi berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan sampel.

Adapun untuk mengetahui lebih dalam mengenai besaran persentase pengaruh faktor terhadap kuat tekan sampel, maka dilakukan analisa menggunakan diagram pareto dengan nilai *F - value* pada pengolahan Anova. Hasil diagram pareto disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2. Pareto Persentase Pengaruh Faktor Terhadap Kuat Tekan Sampel

Dari tabel diatas didapatkan besaran pengaruh persentase substitusi lumpur terhadap kuat tekan sampel dibandingkan dengan faktor lainnya adalah 85.7%. Tampak pada grafik diatas bahwa persentase substitusi lumpur adalah faktor yang paling dominan terhadap kuat tekan sampel. Sedangkan untuk faktor lama perendaman, berpengaruh sebesar 9.0% terhadap kuat tekan sampel. Faktor yang paling kurang dominan adalah lama pengeringan, yaitu sebesar 5.3%.

Hasil analisa diatas menunjukkan bahwa dari tiga faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan sampel, faktor yang paling berpengaruh adalah persentase substitusi lumpur.

Sedangkan apabila diperhatikan pada faktor besar persentase substitusi lumpur, dapat dilihat bahwa semakin besar persentase substitusi lumpur, maka semakin menurun kuat tekan dari sampel. Adapun penurunan yang paling signifikan adalah pada besaran substitusi semen 20% menjadi 30%.

Apabila ditinjau dari segi faktor lama pengeringan, dihasilkan bahwa semakin lama hari pengeringan, maka semakin meningkat nilai kuat tekan dari sampel. Dari grafik dapat dicermati bahwa peningkatan lama pengeringan dari 28 hari hingga 35 hari kurang berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dibandingkan dengan peningkatan lama pengeringan dari 21 hari hingga 28 hari.

Berdasarkan analisa diatas, maka didapatkan bahwa nilai kuat tekan paling tinggi didapatkan dengan perlakuan perendaman selama 7 hari, pengeringan selama 35 hari dan besar persentase lumpur sebagai substitusi sebesar 0%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur sidoarjo kering belum dapat berperan mengganti sebagian (*partially substitution*) penggunaan semen portland pada pemanfaatan campuran untuk plesteran kedap

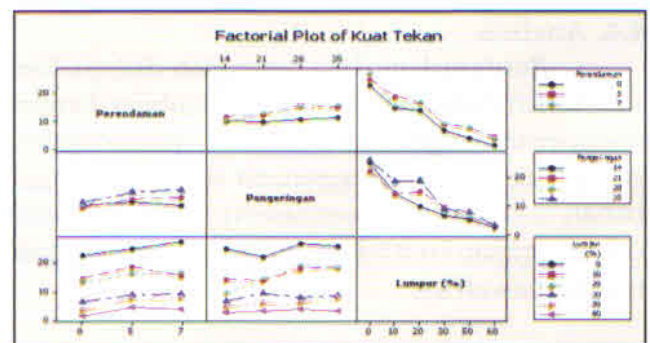
air dengan perbandingan 1:2. Akan tetapi lumpur sidoarjo dalam bentuk serbuk kering dapat di gunakan sebagai bahan campuran untuk plesteran yang tidak kedap air dengan perlakuan khusus. Misalnya untuk plesteran dalam saluran air, maka saluran tidak dapat langsung dimanfaatkan segera setelah diberi plesteran yang mengandung lumpur sidoarjo. Harus menunggu selama minimal 5 (lima) hari baru bisa dilalui air. Hal ini sebagaimana di tunjukkan pada hasil analisa di atas terhadap benda uji dan berkaitan erat dengan proses hidrasi campuran.

Persyaratan batako menurut PUBI-(1982) pasal 6 yang dikutip oleh Wijanarko, W. 2008 antara lain kuat tekan 2-7 MPa. Berdasarkan hasil uji terhadap beberapa komposisi, maka komposisi yang dapat digunakan sebagai penyusun batako adalah komposisi perbandingan dasar semen dan pasir sebesar 1:2. Pada campuran ini peranan semen dikurangi sebesar 10% diganti dengan lumpur ditambah kapur sebanyak 40% dari berat lumpur, sehingga komposisi pengganti semen terdiri atas semen sebanyak 86,5%, lumpur 9,6% dan kapur 3,9%. Berarti terjadi pengurangan penggunaan semen sebanyak 10% dari jumlah semen yang diperlukan pada komposisi dasar.

Dari keseluruhan analisa regresi dihasilkan kesimpulan bahwa rumus regresi untuk memprediksi nilai kuat tekan dengan faktor penyusun lama perendaman, lama pengeringan dan besar persentase substitusi lumpur adalah relatif bagus secara statistik (>70%) dan *valid*.

a. Analisa Hubungan Tiap Faktor

Berdasarkan pengolahan sebelumnya telah didapatkan besar pengaruh tiap faktor (lama perendaman, lama pengeringan dan besar persentase substitusi lumpur). Sedangkan pengaruh gabungan antar faktor akan dianalisa dengan menggunakan *factorial Plot*, sebagaimana disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Factorial Plot Keseluruhan Faktor

Analisa lebih mendalam akan dilakukan pada hubungan faktor Lama perendaman dengan besar persentase substitusi lumpur dan Lama pengeringan dengan besar persentase substitusi lumpur. Hal ini disebabkan oleh lumpur memiliki persentase pengaruh yang paling besar terhadap kuat tekan (85.7%). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh hubungan gabungan antar faktor lama perendaman dan lama pengeringan tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan.

Analisa Pengaruh dan Hubungan Substitusi Kapur Pada Kuat Tekan Pada perlakuan Tanpa Perendaman.

Tabel 5. Tabel Kuat Tekan Dengan Substitusi Lumpur dan Kapur dengan Perlakuan Tanpa Perendaman (A)

Lama Perendaman	Proporsi Lumpur					
	10% + 2% kapur	10% + 3% kapur	10% + 4% kapur	20% + 4% kapur	20% + 6% kapur	20% + 8% kapur
0 Hari	6.62	13.50	25.48	19.11	7.90	9.43
	12.48	13.25	20.38	15.29	7.39	6.11
	15.29	13.76	25.73	12.74	9.94	10.19
	13.25	14.01	12.74	19.11	11.46	10.45
	17.58	11.21	14.01	11.46	14.01	12.74
	9.68	16.31	12.74	19.11	7.64	10.19
	13.50	16.56	15.54	22.93	15.29	5.86
	13.76	10.45	11.21	14.27	9.94	12.74
	11.21	14.01	29.30	7.64	20.38	14.01

Tabel 6. Tabel Kuat Tekan Dengan Substitusi Lumpur dan Kapur dengan Perlakuan Tanpa Perendaman (B)

Lama Perendaman	Proporsi Lumpur					
	30% + 6% kapur	30% + 9% kapur	30% + 12% kapur	50% + 10% kapur	50% + 15% kapur	50% + 20% kapur
0 Hari	6.88	7.90	6.62	6.37	5.35	3.82
	7.64	9.94	5.10	3.57	6.11	5.35
	7.13	9.94	7.64	2.55	5.10	5.61
	7.64	10.19	4.59	2.55	2.55	6.11
	10.70	10.19	7.90	3.06	3.82	4.59
	6.37	15.29	5.10	2.80	8.92	6.37
	7.64	8.41	9.17	3.82	6.62	3.31
	5.35	12.74	5.35	3.31	8.15	5.61
	9.17	9.94	7.64	2.55	11.46	7.39

Berdasarkan pengolahan statistik didapatkan bahwa pengaruh substitusi kapur memiliki efek meningkatkan kuat tekan hingga persentase kapur mencapai angka 5%, kemudian pengaruh ini akan memiliki tren mengurangi kuat tekan (>5% substitusi kapur). Adapun pengaruh besaran persentase substitusi lumpur memiliki tren pengaruh yang relatif sama dengan analisa sebelumnya, yaitu semakin besar persentase substitusi lumpur, maka semakin menurun nilai kuat tekan.

V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pelaksanaan penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal penting terkait dengan pemanfaatan lumpur sidoarjo sebagai pengganti semen, yaitu:

1. Dari hasil pembuatan benda uji dengan beberapa macam komposisi mortar, dengan menggunakan kapur bubuk dan tanpa kapur bubuk, diketahui bahwa komposisi mortar yang terbaik adalah pengurangan semen sebesar 10% dari berat semen dengan penambahan kapur bubuk sebesar 40% dari berat lumpur sidoarjo kering. Dari penelitian ini dapat diketahui pula bahwa lumpur sidoarjo dapat berperan mengurangi penggunaan semen portland pada pemakaian mortar sebagai spesi untuk saluran dan pembuatan batako. Dengan diketahuinya beberapa manfaat lumpur sidoarjo bagi kegiatan perekonomian masyarakat maka akan dapat mengurangi dampak negatif luberan lumpur sidoarjo, khususnya dampak sosial ekonomi penduduk.
 2. Karena proses hidrasi khusus, maka lumpur sidoarjo dalam bentuk bubuk ukuran saringan nomor 100 standar ASTM tidak dapat digunakan sebagai campuran plesteran kedap air, dalam perbandingan semen dengan pasir: (1:2) pada kondisi langsung kering tanpa pembasahan. Akan tetapi lumpur sidoarjo kering ini dapat digunakan sebagai campuran dalam penggunaan plesteran, untuk mengurangi penggunaan PC, pada saluran air dengan perlakuan khusus, yaitu baru bisa digunakan setelah plesteran berumur 5 (lima) hari.
- Proses hidrasi komposisi yang menggunakan lumpur sidoarjo kering sangat berbeda dengan komposisi yang tidak menggunakan lumpur sidoarjo. Hal ini berkaitan erat dengan proses perawatan, sehingga perlakuan komposisi yang menggunakan lumpur sidoarjo harus berbeda dengan yang tanpa lumpur sidoarjo.
3. Dari tabel 4. diketahui bahwa rata-rata kandungan senyawa oksida yang terbesar pada pengujian tahun 2006 adalah SiO_2 dan Al_2O_3 , sedangkan hasil pengujian pada

penelitian ini (2011) menunjukkan kandungan terbesar adalah Fe_2O_3 . Perbedaan kandungan senyawa oksida ini akan berpengaruh pada pemanfaatan lumpur sidoarjo. Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2006 diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa lumpur sidoarjo kering dapat mengurangi penggunaan semen 60% pada pembuatan paving blok dengan alat cetak hidrolis dengan waktu curing 35 hari. Akan tetapi pada penelitian ini, pada pembuatan mortar, diperlukan penambahan bahan tambahan (kapur bubuk) untuk meningkatkan kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 merupakan senyawa utama yang terkandung dalam semen.

Lumpur sidoarjo ini juga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan penyusun batako, dengan komposisi campuran dari perbandingan dasar semen:pasir : 1:2. Pada campuran ini peranan semen dikurangi sebesar 10% diganti dengan lumpur ditambah kapur sebanyak 40% dari berat lumpur, sehingga komposisi pengganti semen terdiri atas semen sebanyak 86,5%, lumpur 9,6% dan kapur 3,9%. Berarti terjadi pengurangan penggunaan semen sebanyak 10% dari jumlah semen yang diperlukan pada komposisi dasar.

5.2. Rekomendasi

Berdasarkan beberapa kesimpulan sebagaimana diuraikan diatas, maka penelitian ini mengusulkan beberapa rekomendasi terkait dengan pemanfaatan lumpur sidoarjo sebagai pengganti semen, yaitu :

1. Kandungan senyawa oksida pada lumpur sidoarjo pada beberapa waktu lampau (berdasarkan hasil penelitian tahun 2006) dengan lumpur sidoarjo pada tahun penelitian ini (2011) mempunyai perbedaan yang cukup signifikan, khususnya pada kandungan Aluminium Oxide (Al_2O_3), Silicon Oxide (SiO_2) dan Iron Oxide (Fe_2O_3). Kandungan senyawa ini mempunyai peranan cukup penting dalam pemanfaatan lumpur sidoarjo sebagai suatu material khusus, sehingga perlu dilakukan uji kandungan kimia sebelum memanfaatkan lumpur sidoarjo.
2. Lumpur lapindo juga dapat dimanfaatkan untuk perbaikan lahan pada kawasan bekas

penggalian galian tambang golongan C, sehingga dapat mencegah kerusakan lingkungan yang lebih parah pada kawasan tersebut. Disamping itu penduduk dapat memanfaatkan lumpur lapindo sebagai salah satu bahan baku dalam pembuatan bahan bangunan sehingga laju kerusakan lahan akibat penggalian tersebut dapat dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidoarjo, *Kabupaten Sidoarjo Dalam Angka 2009, 2010*
- Balai Teknologi Permukiman, Dinas Permukiman Provinsi Jawa Timur, *Pengaruh Resistivitas terhadap Kualitas Beton*, 2009
- Butje Alfonsius Louk Fanggi, *Klasifikasi Batako Berbahan Dasa Tanah Putih di Kota Kupang dan Sekitarnya : Kajian Terhadap Kuat Tekan Batako*, Mitra Tahun XIII, Nomor 3, Desember 2007
- Darminto, *Penelitian Semen Lumpur*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2011
- Diah Novianti, Ir, MA, *Lumpur Sidoarjo, Karakter dan Pemanfaatannya*, 2008, Unesa University Press
- JFK Undana Kupang, *Konstruksi Beton*, Kisaran Teknik, diunduh Desember 2011
- Ngk.Made Anom Wiryasa, I Nyoman Sugita dan Agus Surya Werdasana, *Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Bahan Substitusi Semen pada Pembuatan Paving Blok*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, Nomor 1, Januari 2008
- Tim Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Lumpur Sidoarjo, *Laporan Akhir Kajian Kelayakan Permukiman dan Pengurangan Risiko Bencana Lumpur Sidoarjo*, Sekretariat Daerah Pemerintah Provinsi Jawa Timur, 2010