



JRT P P I 7 (1) (2016)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Aplikasi limbah padat batu alam sebagai substitusi *fine agregat* paving blok, batako dan bahan baku semen

Application of natural stone waste as fine aggregate's substitution for paver block, concrete brick and cement raw material

Aris Mukimin*, Hanny Vistanty, Ikha Rasti Juliasari, Agung Budiarto, Januar Arif Fatkhurahman

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. Jl. Ki Mangunsarkoro No 6 PO Box: 829, Semarang 50136, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 14 Maret 2016

Direvisi 13 April 2016

Disetujui 18 April 2016

Dipublikasikan online 11 Mei 2016

Keywords :

natural stone

paver block

concrete brick

cement

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah padat batu alam menjadi penting dilakukan supaya keseimbangan lingkungan dapat dijaga dan dapat berpeluang menjadi sumber usaha baru yang akan berdampak pada sektor ekonomi masyarakat sekitar. Lokasi pengambilan limbah padat ditetapkan dari salah satu industri pengolahan batu alam di Kabupaten Cirebon. Sumber limbah tersebut berasal dari serbuk padat hasil pemotongan batu alam dan *sludge* hasil sedimentasi. Jenis batu alam yang menjadi obyek penelitian terdiri dari dua, yaitu batuan Andesit dan batuan Palimanan. Produk bahan bangunan yang dibuat dari limbah padat batu alam ada dua, yaitu paving dan batako, dimana dalam hal ini limbah difungsikan sebagai *fine agregat*. Pemanfaatan limbah sebagai bahan baku hanya dipelajari dan diaplikasikan untuk pembuatan semen. Limbah padat batu alam dapat digunakan sebagai substitusi *fine agregat* dalam pembuatan paving dan batako. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk paving mencapai 30% untuk Andesit, dan 50% untuk palimanan dengan kualitas B, C dan D. Persen substitusi limbah padat batu alam untuk batako mencapai 50% untuk Andesit dan Palimanan dengan kualitas I, II, III dan IV. Limbah padat batuan Palimanan mempunyai *image* permukaan yang lebih kasar dibanding Andesit. Kandungan utama limbah padat batuan Andesit sama dengan Palimanan, yaitu: karbon, silika, alumina, kalsium oksida dan besi oksida. Limbah padat batu alam dapat dimanfaatkan untuk membuat semen dengan persen komposisi antara limbah dengan kapur sebesar 43%:56% dan dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam, dilanjutkan ke 1450 °C selama 3 jam.

ABSTRACT

Application of natural stone waste is particularly important to maintain environmental balance as well as a new business opportunity, which will enhance the regional economy. Solid waste used in this research was taken from one of natural stone industry in Cirebon, which consists of raw stone powder came from the cutting process and *sludge* came from sedimentation tank, Type of natural stones used in the industrial process were Andesite and Palimanan. The solid waste was used as a replacement of fine aggregates to produce paving block and concrete block and as raw material of cement. The result showed that waste was able to be used as a substitute of fine aggregates for paving block, up to 30% for Andesite and 50% for Palimanan on level B, C, and D, and concrete brick, up to 50% for Andesite and Palimanan on level I, II, III, and IV. Palimanan waste was able to show a coarse surface image compared to Andesite. The main compositions of Andesite and Palimanan showed no significant differences; carbon, silica, alumina, calcium oxide, and ferro oxide. Natural stone waste was utilized in the production of cement with a waste : limestone ratio of 43%:56% with two sequencing heating at 800 °C for 2 h, then at 1450°C for 3 h.

© 2016 BBT P P I. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : mukiminaris@yahoo.com (A. Mukimin)

1. PENDAHULUAN

Aktivitas pengolahan batu alam selain menghasilkan produk yang akan mendatangkan keuntungan ekonomi juga telah mengakibatkan permasalahan lingkungan berupa timbulan limbah padat dan cair. Sumber limbah tersebut utamanya berasal dari proses pemotongan bahan baku yang dilakukan dengan bantuan air sehingga akan terbentuk selain produk juga limbah padat (serbuk batu alam) dan air limbah (Almeida dkk., 2005). Karakter air limbah ini mengandung total padatan dan total suspensi sangat tinggi (Almeida dkk., 2007), jika dibuang ke lingkungan maka akan menurunkan kualitas perairan (sungai) yang kemudian berdampak pada kualitas ekosistem yang terkait dengan perairan tersebut seperti pemukiman, pertanian dan peternakan.

Kondisi ini memerlukan penanganan yang tepat, baik untuk limbah padatnya maupun air limbah. Saat ini telah diterapkan teknologi pengolahan air limbah di beberapa industri dan terus akan diupayakan kesadaran dan kesediaan industri sehingga semua bisa menangani air limbahnya. Teknologi pengolahan yang saat ini digunakan berupa sedimentasi, koagulasi-flokulasi dan pengendapan. Sistem pengolahan seperti ini akan menghasilkan limbah padat yang berbentuk slurry. Allam dkk (2014) menyebutkan bahwa *stone slurry* merupakan *substance semi liquid* yang mengandung partikel alami dari proses pemotongan dan pemolesan. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa volume *sludge* atau *slurry* dihasilkan sangat besar terutama pada proses sedimentasi. Prosentase volume *by product* tersebut sekitar 40% (Almaida dkk., 2007) atau >30% (Allam dkk., 2014).

Sementara itu, material bahan bangunan identik dengan komoditas yang mempunyai tingkat konsumsi material dasar yang tinggi. Pola produksi semacam ini akan menyebabkan penurunan ketersediaan sumber daya alam yang juga berakibat pada kerusakan lingkungan. Jenis bahan bangunan seperti paving blok, batako dan semen merupakan contoh komoditas yang memerlukan bahan baku besar selain cor beton (Alzboon dan Mahasneh, 2009). Substitusi bahan dasar bangunan dengan material limbah menjadi suatu strategi yang akan menguntungkan baik secara ekonomi maupun lingkungan. Turgut dan Agin (2007) telah

memanfaatkan limbah industri untuk digunakan sebagai material bangunan dan konstruksi. Balasubramanian dkk (1995) telah menggunakan *sludge* hasil pengolahan limbah tekstil pada beberapa material bangunan seperti *hollow bricks*, *solid bricks*, cor semen lantai keramik dan paving blok. Weng dkk (2003) telah menginvestigasi kemungkinan produksi *bricks* dari *sludge* kering dan mereka menemukan bahwa proporsi *sludge* dan temperatur pembakaran menjadi parameter kunci terhadap kualitas *bricks*. Kuswah (2015) menyebutkan sebanyak 30% penggunaan *slurry* batu alam dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat (pasir) pada pembuatan beton cor dengan kekuatan yang sama. Dan referensi lain (Nemerow, 2009) menyebutkan pemanfaatan *slurry* batu sebagai pengganti agregat dengan konsentrasi sampai 20% tidak mempengaruhi kekuatan mekanis beton cor sehingga pemanfaatan limbah batu alam sebagai pengganti agregat pada beton cor dapat diterapkan untuk mengurangi volume limbah batu alam pada industri pengolahan batu alam.

Penelitian ini menyampaikan sebuah alternatif pemanfaatan limbah padat batu alam dan mendemonstrasikan solusi teknik pembuatan material bangunan berbahan baku dari limbah tersebut. Paving blok dan batako telah dipilih menjadi produk pemanfaatan melalui substitusi *fine agregat*. Adapun semen menjadi komoditas target dalam kapasitas limbah padat tersebut sebagai bahan baku utama. Uji kuat tekan dan analisis SEM-EDX digunakan sebagai parameter untuk mengukur kualitas produk.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi: limbah padat batu alam (Andesit dan Paliman), pasir muntiran, kapur tohor, air, semen, papan Kayu Kalimantan, multiplek, paku, ember, cetok, sekop, cetak, plastik, dan gelas takar. Beberapa peralatan digunakan untuk proses penyiapan, pencetakan atau pembuatan dan analisis kualitas atau kuantitas. Peralatan untuk penyiapan meliputi: tampah pengering, palu penggerus bongkahan limbah padat dan *mixer* (penghomogen bahan campuran). Proses pencetakan

dilakukan dengan mesin cetak yang dilengkapi proses tekan. Peralatan analisis yang digunakan meliputi: alat uji tekan, uji keausan dan SEM-EDX (JEOL JSM-6360LA).

2.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini meliputi: Penyiapan limbah padat batu alam, pembuatan paving, pembuatan batako, pembuatan semen dan analisis kualitatif atau kuantitatif bahan atau produk. Penyiapan limbah padat dilakukan dengan cara batu alam dijemur kemudian dihancurkan dengan menggunakan palu karet untuk penyeragaman ukuran partikel.

2.2.1. Pembuatan Paving

Limbah padat batu alam yang telah dijemur dan diseragamkan kemudian diukur untuk volume tertentu menggunakan ember dan gelas volum. Selain itu diukur pula kuantitas pasir, semen dan air dengan perbandingan keempat material tersebut sebagaimana pada Tabel 1-4.

2.2.2. Pembuatan Batako

Limbah padat batu alam yang telah dijemur dan diseragamkan kemudian diukur untuk volume tertentu menggunakan ember dan gelas ukur. Selain itu diukur pula kuantitas pasir, semen dan air dengan perbandingan keempat material tersebut sebagaimana pada Tabel 5-6.

Tabel 1. Formula pembuatan paving bersubstitusi limbah padat batuan Andesit

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	14,4	1,6	2	1,6
2	20	25,6	6,4	4	2,55
3	30	16,8	7,2	3	1,75
4	40	14,4	9,6	3	3,5
5	50	12	12	3	4

Tabel 2. Formula pembuatan paving bersubstitusi bahan limbah padat batuan Palimanan

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1,5
2	20	19,2	4,8	3	1,6
3	30	16,8	7,2	3	1,7
4	40	14,4	9,6	3	5
5	50	12	12	3	5,5

Ket: LBA adalah limbah batu alam

Tabel 3. Formula pembuatan paving variasi rasio fine agregat terhadap semen dengan substitusi limbah batu alam 40%

NO	BATUAN	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	Andesit	14,4	9,6	3	3,5
		14,2	9,45	3,4	5,5
2	Palimanan	14,4	9,6	3	5
		14,2	9,45	3,4	4,5

Tabel 4. Formula pembuatan paving menggunakan limbah batu alam sebagai substitusi semen

NO	BATUAN	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	Andesit	24	0	3	1,5
		24	0,6	2,4	1,5

2.2.3. Pembuatan Semen

Untuk pemanfaatan limbah batu alam menjadi bahan dasar semen maka dilakukan uji kandungan anorganik dari limbah tersebut dengan menggunakan instrument SEM-EDX. Berdasarkan data kandungan anorganik dalam hal ini spesifik untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan CaO maka dibuat formula pembuatan semen adalah 1 g limbah batu alam dan 1,3 g kapur. Kedua bahan tersebut kemudian dicampur hingga homogen menggunakan blender. Bahan hasil campuran dikalsinasi hingga suhu 800°C dan ditahan

selama 2 jam kemudian disintering hingga temperatur 1300°C dan 1450°C ditahan selama 3 jam. Pemanasan ini dilakukan di cawan platina sehingga tahan terhadap suhu perlakuan. Segera setelah suhu dan waktu pemanasan tercapai kemudian sampel dikeluarkan supaya terjadi pendinginan cepat. Terak yang terbentuk kemudian dihancurkan sehingga diperoleh serbuk semen dan siap dianalisa kandungan anorganiknya dengan instrument SEM-EDX.

Tabel 5. Formula pembuatan batako bersubstitusi limbah padat batuan Andesit

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1
2	20	19,2	4,8	3	1,2
3	30	16,8	7,2	3	1,7
4	40	14,4	9,6	3	3,5
5	50	12	12	3	4

Tabel 6. Formula pembuatan batako bersubstitusi bahan limbah padat batuan Palimanan

NO	PERSEN LBA (%)	VOLUME (L)			
		PASIR	LBA	SEMEN	AIR
1	10	21,6	2,4	3	1,15
2	20	19,2	4,8	3	1,3
3	30	16,8	7,2	3	1,5
4	40	14,4	9,6	3	5
5	50	12	12	3	5,5

Tabel 7. Hasil uji kandungan mineral oksida batuan Andesit dan Palimanan

COMPOUND	MASSA (%)					
	ANDESIT	PALIMANAN	Torres, dkk (Granite)	Turgut, dkk (Limestone)	Ferreira, dkk (Granite)	Alzboon & Mahesneh
Karbon (C)	22,56	22,39	-	-	-	-
Na_2O	2,81	3,27	-	-	-	-
MgO	2,87	0,96	0,86	0	0,9	0,91
Al_2O_3	14,22	12,55	14,25	0,25	12,4	0,21
SiO_2	41,34	52,59	71,65	0,26	61,2	0,83
P_2O_5	0,66	0,34	-	-	-	-
K_2O	0,59	1,18	4,43	0	4,1	0
CaO	6,21	3,50	1,83	56,19	6,6	54,22
TiO_2	0,74	0,34	-	-	-	-
Cr_2O_3	0,09	0,05	-	-	-	-
FeO	6,71	2,77	2,83	0,3	12,4	0,11
CuO	1,20	-	-	-	-	-

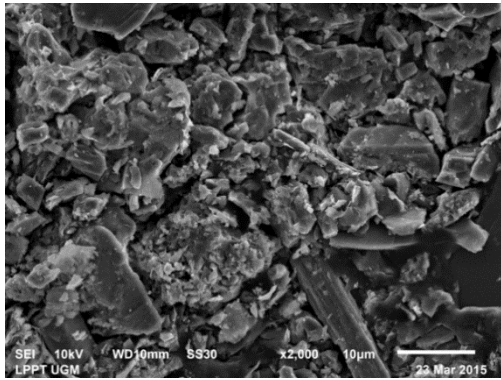
2.3. Analisis Kualitas

Produk paving, batako dan semen yang dibuat dengan bahan dasar yang salah satunya dari limbah padat

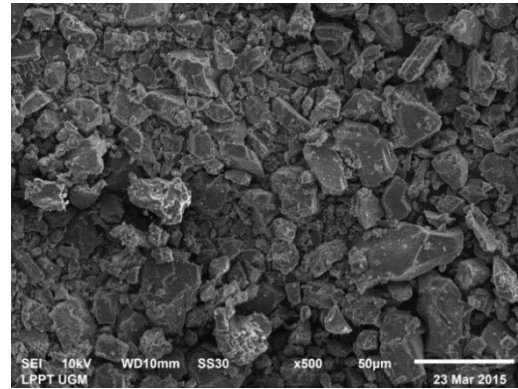
batu alam maka untuk menentukan kualitasnya dilakukan uji laboratorium. Uji kualitas untuk paving meliputi kuat tekan dan kadar air. Khusus uji kuat tekan dilakukan untuk

variasi waktu atau umur paving yaitu minimal 14 hari dan 28 hari. Uji kualitas batako dilakukan hanya untuk parameter kuat tekan. Hal ini didasarkan pada pertimbangan fungsi produk bangunan ini yang umumnya

sebagai dinding bangunan dengan beban tertentu. Adapun kualitas semen hasil pembuatan dikarakterisasi dengan analisis SEM-EDX. Metode uji ini akan memberikan data kuantitatif kandungan anorganik sampel yang dianalisis.



a



b

Gambar 1. SEM limbah padat (a) Andesit dan (b) Palimanan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Fisik dan Kimia Limbah Padat Batu Alam

Limbah padat batu alam yang menjadi obyek pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu Andesit dan Paliman. Kedua limbah padat ini mempunyai perbedaan sifat fisik yang sangat jelas. Limbah padat dari batuan Andesit secara visual berwarna hitam mirip semen, sedangkan limbah padat Palimanan berwarna coklat kekuningan. Testur kedua limbah juga cenderung berbeda, limbah padat batuan Andesit relatif lebih halus dibanding Palimanan. Data hasil uji SEM dari limbah batu alam disajikan dalam Gambar 1.

Image permukaan antara limbah batu alam Andesit dan Palimanan menunjukkan perbedaan, dimana limbah batu alam Andesit cenderung lebih halus dengan ukuran partikel lebih beragam dari ukuran sekitar 1 – 20 µm. Sementara itu limbah batu alam Palimanan mempunyai image permukaan yang lebih kasar dengan tingkat ukuran partikel lebih seragam, yaitu sekitar 10 – 30 µm.

Perbedaan sifat fisik limbah batu alam juga dapat dijumpai berdasarkan sumber proses. Limbah padat yang diperoleh dari proses pemotongan cenderung lebih kasar

dibanding dari proses sedimentasi. Limbah padat yang berasal dari sedimentasi mempunyai kadar air yang sangat tinggi, sementara untuk limbah padat dari proses pemotongan relatif rendah. Proses sedimentasi cenderung menghasilkan limbah padat yang hampir sama ukuran partikelnya, sedangkan proses pemotongan menghasilkan limbah padat dengan homogenitas rendah. Bahkan tidak sedikit limbah padat dari proses pemotongan terdapat potongan batu alam yang relatif besar.

Sifat fisik limbah padat Paliman yang lebih kasar dibanding Andesit dimungkinkan karena kandungan SiO_2 yang berbeda dari kedua jenis batuan tersebut. Berdasarkan data analisa batuan Andesit mempunyai kandungan silika yang relatif lebih rendah dari Paliman, yaitu 41% sedang Paliman 52%. Ilustrasi komposisi kimia limbah batuan ini disajikan pada Tabel 7.

Hasil analisis komposisi kimia telah dibandingkan dengan hasil studi penelitian sebelumnya (Torres dkk, 2004; Turgut dkk, 2007; Ferreira dkk, 2004 dan Alzboon, 2009). Data analisis telah menunjukkan komposisi kimia yang berbeda dari setiap sumber batuan yang berlainan. Variasi dalam mineralogi dan komposisi kimia dari limbah padat (*sludge*) ini telah mencirikan variasi tipe dan asal usul batuan

(Colombo dkk, 2008). Berdasar nilai kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dibanding kalsium oksida (CaO) membuktikan bahwa batuan Paliman dan Andesit lebih mirip dengan granit dari pada *limestone* atau *marble*.

3.2. Substitusi Limbah Batu Alam Dalam Pembuatan Paving

Paving hasil cetakan yang tersubstitusi limbah padat batu alam secara visual mempunyai perbedaan dengan paving yang tanpa substitusi. Perbedaan itu terjadi baik dalam

hal warna maupun tekstur permukaan. Untuk paving tersubstitusi limbah batu alam Andesit cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus dan berwarna gelap kehijauan, sedangkan substitusi limbah batu Palimanan menghasilkan paving dengan warna cenderung cerah dan sedikit kasar. Kualitas kuat tekan untuk paving tersebut disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi persen substitusi limbah batu alam andesit dan umur penjemuran

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	10	245	251,7	B
2	20	212	241,7	B
3	30	90	148,1	C
4	40	76,5	98	Tidak memenuhi
5	50		97	Tidak memenuhi

Ket Kualitas: B untuk peralatan parkir, C untuk pejalan kaki dan D untuk taman

Tabel 9. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi persen substitusi limbah batu alam palimanan dan umur penjemuran

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	10	217	275,3	B
2	20	184	162,7	C
3	30	76	122,5	D
4	40	104,6	117,4	D
5	50	-	94,4	D

Ket Kualitas: B untuk peralatan parkir, C untuk pejalan kaki dan D untuk taman

Tabel 10. Hasil uji kuat tekan produk paving variasi rasio *fine agregat* terhadap semen dengan substitusi limbah batu alam 40%

NO	JENIS LBA	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		RASIO 1:7	RASIO 1:8	
1	ANDESIT	80,5	76,5	Tidak memenuhi
2	PALIMANAN	107,0	117,4	D

Ket Kualitas: D untuk taman

Tabel 11. Hasil uji kuat tekan produk paving menggunakan limbah batu alam sebagai substitusi semen

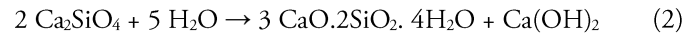
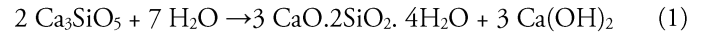
NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm^2)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	20	113	137,9	C

Ket Kualitas: C untuk pejalan kaki

Berdasar data kuat tekan dari produk paving yang dihasilkan maka terjadi peningkatan sifat kuat tekan equivalen dengan lama atau umur pengeringan. Peningkatan sifat fisik ini mencapai 2,7 % untuk substitusi

10% dan 28% untuk substitusi 40%. Neville dkk (1982) telah menjelaskan bahwa peningkatan kuat tekan produk cetak bahan bangunan oleh umur pembuatan disebabkan oleh penambahan konsentrasi senyawa semen terhidrat,

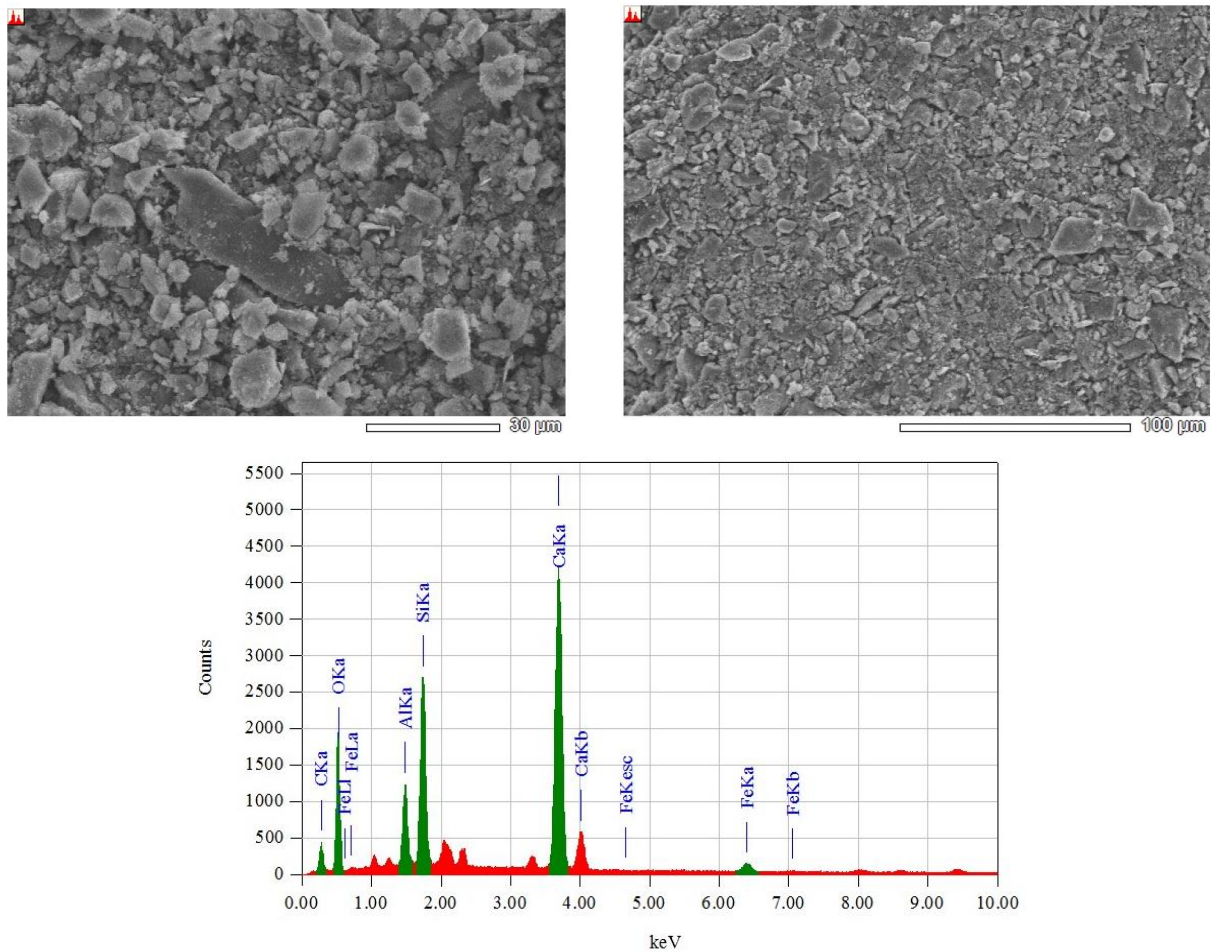
dimana senyawa ini akan menempati semua ruang yang tersedia di dalam produk. Sementara itu Munoz-Montano (2003) telah menyampaikan bahwa peningkatan kuat tekan oleh penambahan umur paving berhubungan dengan pertambahan konsentrasi senyawa semen terhidrat dalam ruang yang tersedia dalam produk ini untuk diisi. Reaksi hidrasi dua senyawa utama semen (trikalsium silikat dan dikalsium silikat) adalah:



Peningkatan kuat tekan oleh lama waktu penjemuran mengharuskan pada pemenuhan waktu pengeringan yang harus ditepati. Peningkatan kuat tekan yang dikarenakan oleh lamanya waktu penjemuran juga tergantung pada tepatnya waktu pengeringan.

Tabel 12. Hasil uji penyerapan air produk paving

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	PENYERAPAN AIR (%)		KUALITAS
		UMUR 14 HARI	UMUR 28 HARI	
1	A 10	8,23	5,35	B
2	A 20	10,07	6,00	B
3	A 30	12,33	7,67	C
4	P 10	6,84	4,57	B
5	P 20	9,21	5,88	B
6	P 30	12,20	7,89	C



Gambar 2. Hasil SEM-EDX semen yang ada di pasaran

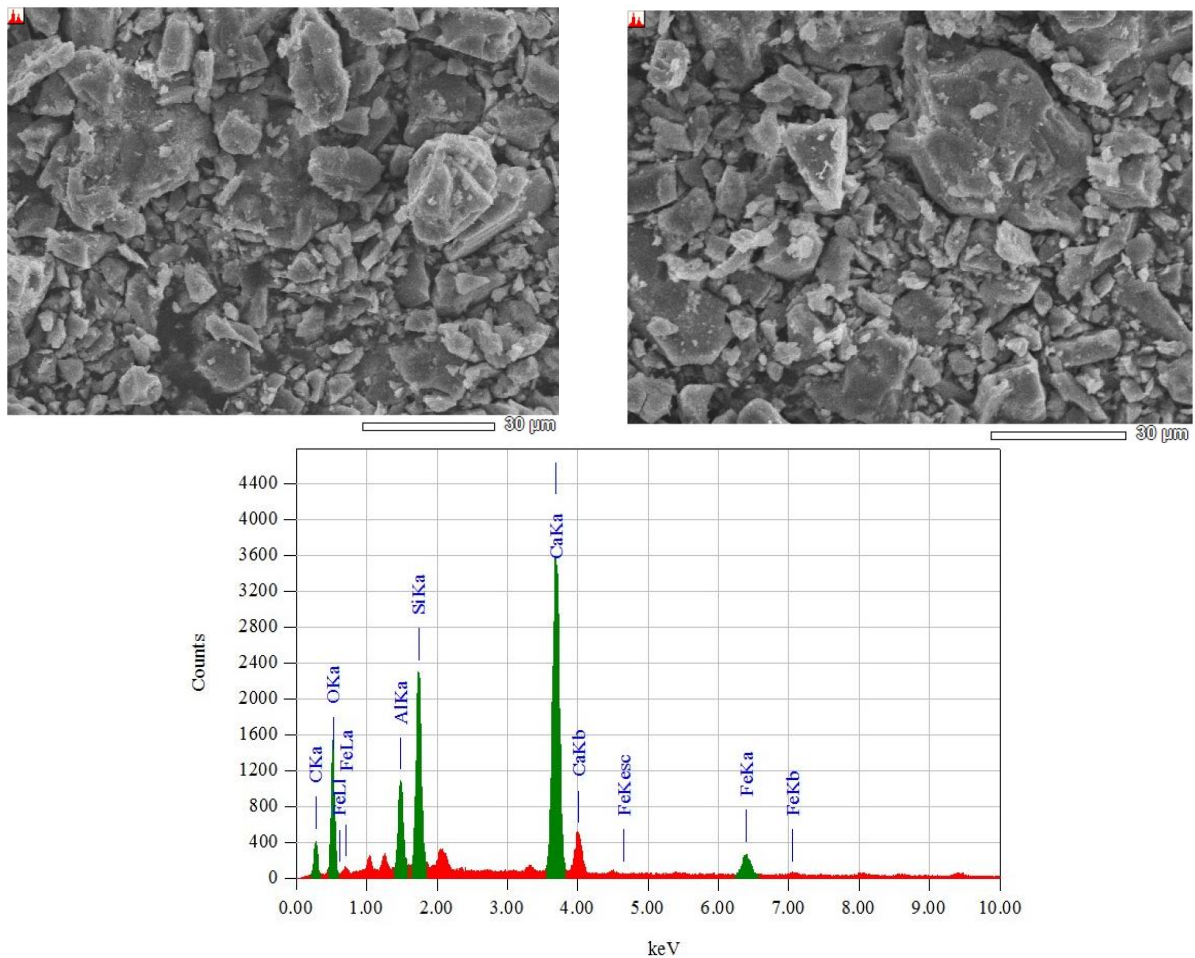
Berdasar data yang termuat pada Tabel 8 juga akan diketahui bahwa peningkatan persen substitusi akan menurunkan sifat kuat tekan paving. Substitusi sampai dengan 20% akan menghasilkan paving yang kualitasnya masih memenuhi kelas B atau paving peruntukan pelataran parkir. Namun pada substitusi 30% kuat tekan paving akan menurun sehingga hanya layak untuk pejalan kaki atau kualitas C. Substitusi di atas itu atau lebih dari 40% ternyata akan menghasilkan kualitas paving yang kuat tekannya

rendah sehingga tidak layak digunakan untuk spesifikasi fungsinya. Almeida dkk (2007) telah menjelaskan penurunan kuat tekan oleh peningkatan komposisi limbah batu atau *dust* akibat material halus tidak mampu menggantikan efek mikrofiller.

Kecenderungan sifat kuat tekan paving tersubstitusi limbah padat batu alam juga dijumpai untuk jenis batuan Palimanan. Data kualitas paving yang dimaksud telah disajikan pada Tabel 9.

Tabel 13. Hasil uji kuat tekan produk batako variasi persen substitusi limbah padat batu alam

NO	PERSEN SUBSTITUSI (%)	KUAT TEKAN (Kg/cm ²)		KUALITAS
		ANDESIT	PALIMANAN	
1	10	45,8	73,4	III, I
2	20	49,4	62,6	III,II
3	30	63,2	60,7	II, II
4	40	26,1	22,4	IV, IV
5	50	29,8	36,3	IV, III



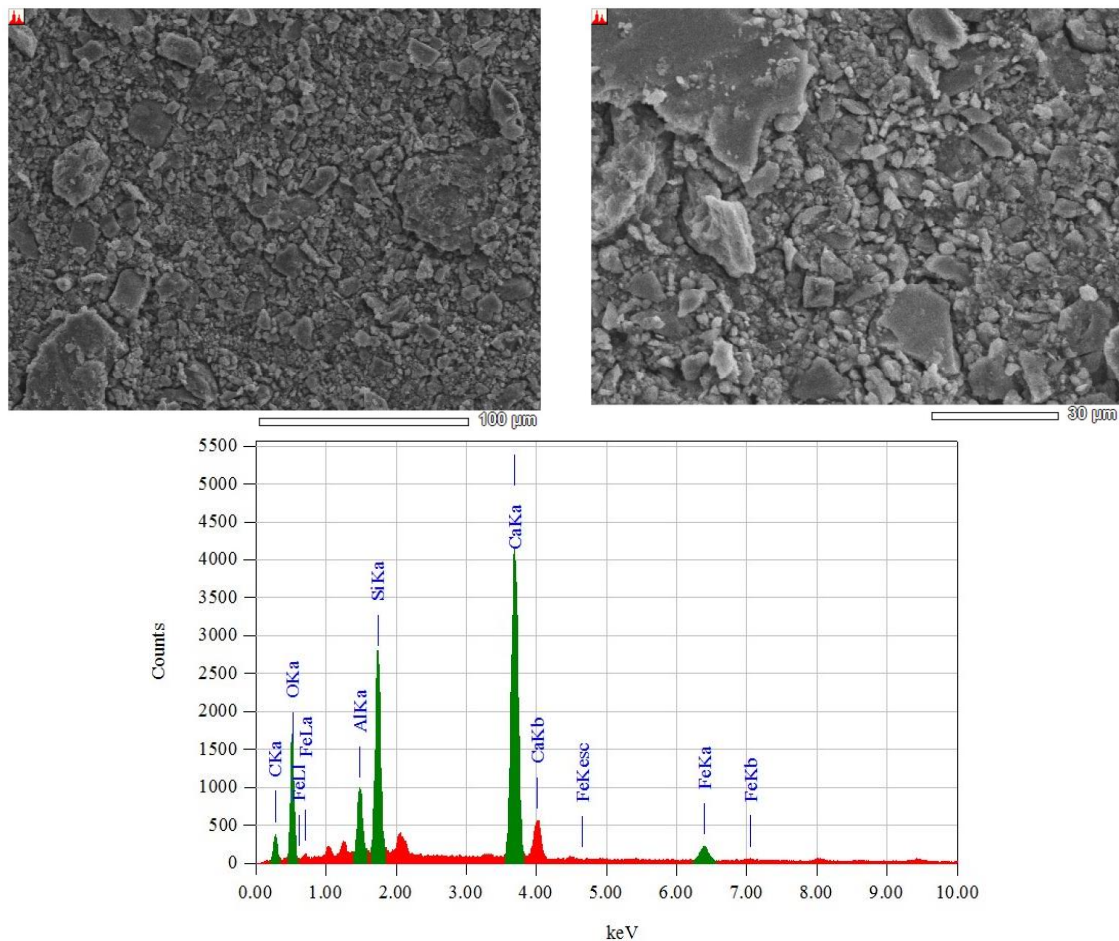
Gambar 3. Hasil SEM-EDX semen yang dibuat dari limbah padat batu alam dengan suhu sintering 1300 °C

Umur paving akan mempengaruhi sifat kuat tekan, semakin lama umurnya maka kuat tekannya akan semakin besar. Besar peningkatan kuat tekan sekitar 27% untuk substitusi 10% dan 12% untuk substitusi 40%. Peningkatan

yang cukup tinggi ini disebabkan oleh sifat limbah batu alam Palimanan yang cenderung lebih menyerap air sehingga potensi pembentukan semen terhidrat akan semakin besar.

Tabel 14. Hasil pengujian kandungan anorganik semen terbuat dari limbah batu alam

NO	UNSUR & MINERAL OKSIDA	MASSA (%)		
		SEMEN KOMERSIAL	SEMEN BATU ALAM TERPROSES T 1300°C	SEMEN BATU ALAM TERPROSES T 1450°C
1	Karbon	18,74	20,65	17,91
2	Al ₂ O ₃	9,1	9,33	7,72
3	SiO ₂	25,65	23,06	25,97
4	CaO	43,36	40,21	43,15
5	Fe ₂ O ₃	3,15	6,75	5,25



Gambar 4. Hasil SEM-EDX semen yang dibuat dari limbah padat batu alam dengan suhu sintering 1450 °C

Hanya jika dibandingkan dengan paving tersubstitusi limbah batu alam andesit maka paving tersubstitusi limbah batu alam Paliman lebih baik kuat

tekannya. Untuk komposisi substitusi sampai 50%, paving yang dihasilkan masih memenuhi peruntukan fungsi paving. Hal ini disebabkan oleh sifat fisik limbah batu alam

Palimanan yang cenderung lebih kasar dan keras sehingga efek mikrofillernya dapat terpenuhi.

Investigasi efek substitusi limbah batu alam terhadap produk paving menarik untuk didalami dengan memvariasi rasio *fine agregat* terhadap *blinder* (semen). Formula umum perbandingan *fine agregat* terhadap semen sebesar 8 banding 1. Perbandingan ini telah memberikan paving dengan kuat tekan yang rendah sebagaimana disampaikan pada Tabel 10.

Nilai kuat tekan yang rendah ini maka dicari solusi dengan memperbesar perbandingan semen terhadap *fine agregat* menjadi 1:7. Data yang diperoleh menunjukkan terjadi peningkatan sekitar 5,2% untuk batuan Andesit, namun fakta sebaliknya terjadi pada batuan Palimanan yaitu terjadi penurunan sebesar 9,7%. Hasil uji yang demikian ini bisa dinyatakan bahwa limbah padat batu alam andesit mempunyai potensi sifat seperti semen, sementara itu tidak demikian untuk limbah padat batu alam Palimanan. Berdasar pada sifat fisik limbah maka diketahui secara jelas bahwa limbah padat batu alam Palimanan cenderung berukuran partikel lebih besar dan bersifat kasar. Hal ini menjadi sifat yang semakin tidak sama dengan material semen. Penurunan kuat tekan oleh peningkatan rasio semen terhadap *fine agregat* oleh Uchikawa (1996) dijelaskan sebagai akibat kemampuan modulus elastisitas material semen yang ternyata hanya setengah dari modulus elastisitas *fine agregat*.

Penelusuran lebih lanjut terhadap potensi sifat semen pada limbah padat batu alam Andesit menarik untuk dilakukan. Data kuat tekan dari paving hasil substitusi semen dengan limbah batuan Andesit disajikan pada Tabel 11.

Berdasar hasil uji kuat tekan tersebut pada Tabel 11 maka potensi sifat semen dalam limbah padat batu alam Andesit sangat kecil. Substitusi semen oleh limbah batu alam jenis ini telah mereduksi kuat tekan dari 241,7 Kg/cm² menjadi 137,9 Kg/cm² atau sekitar 75%. Rendahnya nilai kuat tekan tersebut dimungkinkan oleh kuantitas ikatan hidrasi yang kecil akibat tidak berlangsungnya proses ini dalam limbah padat batu alam Andesit. Fakta ini menjadi dasar kesimpulan yang jelas bahwa limbah batu alam yang tanpa pengolahan belum bisa menggantikan semen.

Konsumsi air yang meningkat selain untuk keperluan reaksi hidrasi semen juga memperbesar peluang penguapan saat pengeringan. Transfer air saat pengeringan akan menjadi linier terhadap potensi penyerapan air.

Kadar penyerapan air yang relatif sama untuk paving terbuat dari limbah padat batu alam Andesit dengan paving yang terbuat batu alam Palimanan menarik untuk diuraikan. Berdasar volume kebutuhan air maka hampir di semua persen substitusi limbah batu alam Palimanan lebih besar. Kondisi ini mestinya nilai kadar air penyerapan paving berbahan substitusi limbah padat batu alam Palimanan akan besar tetapi dalam realitasnya kadar penyerapannya tidak berbeda nyata dengan paving tersubstitusi limbah padat batu alam Andesit. Jika diamati maka penyebab fenomena ini salah satu yang mungkin karena peluang reaksi hidrasi semen di limbah padat batu alam Palimanan lebih besar. Faktor penyebabnya bisa karena sifat fisik limbah tersebut yang cenderung kasar. Konsekuensi dari kecenderungan ini dapat dibuktikan dari nilai kuat tekan paving Palimanan yang lebih tinggi dari Andesit.

3.3. Substitusi Limbah Batu Alam Dalam Pembuatan Batako

Berdasar data kuat tekan pada Tabel 13 maka diperoleh sebuah kecenderungan bahwa substitusi *fine agregat* pasir oleh limbah batu alam akan menurunkan kualitas kuat tekan batako. Persen substitusi yang semakin besar maka penurunan kuat tekan batako juga semakin besar. Kecenderungan ini mempunyai sebab yang sama ketika limbah batu alam digunakan untuk membuat paving sebagaimana telah dijelaskan pada bagian sebelumnya.

Bila dibandingkan antara limbah padat jenis batuan (Andesit dengan Palimanan) maka hampir disemua persen substitusi menunjukkan bahwa kuat tekan batako dari limbah batu alam Palimanan lebih besar dari pada Andesit. Hal yang menyebabkan fakta tersebut tidak lain karena sifat fisik limbah padat batu alam Palimanan yang lebih kasar dibanding Andesit.

3.4. Pembuatan Semen Berbahan Dasar Limbah Batu Alam

Batu alam Andesit dan Palimanan merupakan bahan tambang non mineral yang tidak berbeda jauh dengan bahan baku semen. Fakta ini membuka peluang untuk pemanfaatan limbah kedua jenis batuan alam tersebut untuk bahan baku semen, apalagi secara fisik limbah batu alam khususnya Andesit mempunyai warna fisik yang sama dengan produk semen. Berdasar hasil uji EDX maka diketahui bahwa limbah batu alam Andesit dan Palimanan mengandung banyak jenis bahan kimia. Unsur utama penyusun limbah padat batuan Andesit dan Palimanan tidak berbeda, yaitu: karbon, oksigen, aluminium, silika, kalsium dan besi. Keenam unsur itu mempunyai *range* persen komposisi yang hampir sama kecuali silika, kalsium dan besi. Oksida mineral utama penyusun limbah tersebut adalah Al_2O_3 , SiO_2 , CaO dan FeO . Persen komposisi untuk Al_2O_3 dan SiO_2 cenderung sama yaitu sekitar 13% dan 45%, sedangkan persen CaO dan FeO relatif berbeda yaitu antara 6,2 dengan 3,5 dan 6,7 dengan 2,77.

Oleh karena kandungan kimia limbah padat batuan Andesit dan Palimanan hampir sama dengan bahan baku produksi semen, maka menarik untuk memanfaatkan limbah ini menjadi bahan baku semen. Indikator keberhasilan pemanfaatan ini dilakukan dengan membandingkan hasil uji SEM-EDX antara produk hasil pembuatan semen berbahan dasar limbah padat batuan dengan produk semen yang ada di pasaran. Data uji SEM-EDX untuk semen pasaran sebagaimana dimuat dalam Gambar 2. Data SEM-EDX produk semen telah menunjukkan bahwa material ini mempunyai ukuran partikel yang relatif seragam khususnya dengan perbesaran 100x. Material ini juga memiliki kandungan senyawa utama sebanyak empat dengan detail identitasnya disampaikan pada Tabel 14.

Data SEM-EDX limbah batu alam yang telah dicampur dengan kapur dan dipanaskan suhu 1300 °C mempunyai *image* dengan ukuran partikel yang kurang homogen dibanding produk semen. Namun material tersintesis ini juga terdiri dari empat unsur utama. *Image* permukaan yang lebih tegas telah ditunjukkan oleh material

semen tersintesis pada suhu 1450 °C. Namun dari aspek ukuran partikel masih kurang seragam bila dibanding dengan produk semen pasaran.

Hal ini disebabkan oleh proses *grinding* yang tidak dilakukan untuk material tersintesis. Unsur penyusun material ini tidak berbeda jauh dengan produk semen pasaran. Untuk mengetahui secara detail komparasi unsur penyusun semen pasaran dengan material semen tersintesis maka dapat dilihat pada Tabel 14.

4. KESIMPULAN

Limbah padat batu alam dapat digunakan sebagai substitusi *fine agregat* dalam pembuatan paving dan batako. Persen substitusi pembuatan paving mencapai 30% untuk Andesit dan 50% untuk palimanan dengan kualitas B, C dan D. Adapun pembuatan batako mencapai 50% untuk Andesit dan Palimanan dengan kualitas I, II, III dan IV. Limbah padat batuan Palimanan mempunyai *image* permukaan yang lebih kasar dibanding Andesit. Kandungan utama limbah padat batuan Andesit sama dengan Palimanan, yaitu: karbon, silika, alumina, kalsium oksida dan feri oksida. Limbah padat batu alam dapat dimanfaatkan untuk membuat semen dengan persen komposisi antara limbah dengan kapur sebesar 43%:56% dan dipanaskan pada suhu 800 °C selama 2 jam dilanjutkan ke 1450 °C selama 3 jam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat terealisasi atas dukungan dana dari BBT PPI dan BLHD Kabupaten Cirebon. Data pengujian dapat diperoleh secara representatif oleh peran serta Laboratorium PPIK Propinsi Jawa Tengah dan Laboratorium LPT UGM Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Allam ME., Bakhom ES., Garas GL., 2014, Re-use of Granite Sludge in Producing Green Concrete, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 9 (12), pp.2731-2737
- Almeida N., Branco F., Brito J., 2007, High-performance concrete with recycled stone slurry, *Cement and Concrete Research* 37, pp. 210–220

- Almeida NM., Branco F., Santos JR., 2005, Recycling of stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures, *building and environment* 42, pp. 810-819
- Alzboon KK., dan Mahasneh KN., 2009, Effect of Using Cutting Stone Waste on the Compression Strength and Slump Characteristics of Concrete, *Int. J. Env. Chem. Eco. Geo. Eng* 3 (3), pp. 83-88
- Balasubramanian J., Sabumon C., Lazar JU., dan Ilangovan R., 1995, Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials, *journal of materials processing technology* 48 (1-4), pp. 379-384.
- Colombo A., Tunesi A., Barberini V., Galimberti L., Cavallo A., 2008, Chemical and mineralogical characterization of cutting process sludge, exploitation of sludge from stone working synthesis of the research., accessed 2008, http://www.aigt.ch/download/rapporto_INTERREGen.pdf.
- Ferreira JMF., Torres PMC., Silva MS., and Labrincha JA., 2004, Recycling of granite sludge in brick-type and floor tile-type ceramic formulation. *Journal of the European Ceramic Society* 24 (10-11), pp. 3177-3185.
- Kuswah RS., 2015, Utilization Of "Marble Slurry" In Cement Concrete Replacing Fine Aggregate. *American Journal of Engineering Research* 4 (1), pp. 55-58
- Munoz-Muntano J., 2003, Project Reference BRST985531, Recycling of waste originated in the process of cutting natural stone, In: BRITE/EURAM3
- Nemerow, Nelson L., 2009, *Environmentl Engineering, Sixth Edition : Environmental Health And Safety For Municipal Infrastructure, Land Use And Planning, And Industry.* John Wiley & Sons. pp.50
- Neville AM., 1982, *Properties of Concrete*, Pini, SP, Brazil
- Turgut P., dan Algin HM., 2007, Limestone dust and wood sawdust as brick material. *Building and Environment Journal* 42 (9), pp. 3399-3403
- Torres P., Fernandes HR., Agathopoulos S., Tulyaganov DU., and Ferreira JMF., 2004, Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations, *Journal of the European Ceramic Society* 24 (10-11), pp. 3177-3185.
- Uchikawa H., Hanehara S., Hirao H., 1996, Influence of microstructure on the physical properties of concrete prepared by substituting mineral powder for part of fine aggregate, *Cement and Concrete Research* 26 (1), pp. 101-111.
- Weng C., Lin D., dan Chiang P., 2003, Utilization of sludge as brick materials. *Advances in Environmental Research*, 7 (3), pp. 679-68