

## KONSEP PENGELOLAAN LINGKUNGAN KAWASAN INDUSTRI PANAS BUMI GUNA MENDUKUNG PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN : *Aspek Pemanfaatan Limbah Padat*

Mutia Dewi Yuniati<sup>1</sup>, Eko Tri Sumarnadi<sup>1</sup>, Igna Hadi<sup>1</sup>, Dyah Marganingrum<sup>1</sup>, dan Sukristiyanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

E-mail: mutia\_dy@yahoo.com

### Abstrak

*Industri Panas Bumi (PLTP) dikenal sebagai salah satu kegiatan pertambangan yang ramah lingkungan, namun industri ini juga tidak terlepas dari dampak lingkungan manakala kegiatan tersebut tidak dikelola dengan baik dan benar sejak awal usaha, proses pelaksanaan, hingga akhir kegiatan tersebut. Mengingat fungsi utama kegiatan industri panas bumi adalah pengambilan uap air panas dari dalam perut bumi, maka dampak lingkungan kegiatan tersebut pada umumnya berkaitan dengan pengelolaan dan pembuangan limbah, khususnya geothermal brines. Besar kecilnya limbah padat yang dihasilkan sangat tergantung pada tipikal kondisi reservoir panas bumi, khususnya temperatur yang mempengaruhi sifat kelarutan mineral. Geothermal brine mengandung berbagai unsur kimia terlarut termasuk zat pengotor (kontaminan). Kehadiran zat pengotor selain dapat merusak turbin dan peralatan lainnya, juga dapat mengurangi efisiensi PLTP dan berpotensi mencemari lingkungan. PLTP Geodipa Unit I Dieng merupakan industri panas bumi yang membawa mineral terlarut relatif cukup besar, baik material padat hasil scalling maupun material berbentuk sludge pada kolam pengendapan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi material tersebut dari segi kuantitas dan kualitas baik secara fisik maupun kimianya, serta prospek pemanfaatannya sebagai bahan bangunan. Guna mencapai tujuan tersebut, penelitian dilakukan melalui sampling di lapangan, karakterisasi dan eksperimen di laboratorium dengan menggunakan parameter kimia dan fisika. Prinsip dasarnya adalah tidak memurnikan limbah tersebut, tetapi bagaimana mengubah karakter limbah melalui rekayasa teknologi sederhana dengan menambahkan sejumlah bahan aditif sehingga dapat diperoleh material baru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter kedua jenis material tersebut sebagian besar didominasi oleh silika ( $\text{SiO}_2$ ) amorf. Melalui penambahan sejumlah bahan aditif (fly ash, water glass, rice husk carbon) dengan formula tertentu, dapat dibuat prototip produk material baru (paving block, beton/bata ringan) sebagai bahan bangunan. Penelitian ini menjadi penting, karena disamping dapat memberikan nilai tambah material tersebut juga sekaligus mampu memberikan solusi terhadap permasalahan limbah industri panas bumi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat diapresiasi oleh stakeholder, yakni pemerintah daerah, masyarakat, dan industri.*

**Kata kunci:** limbah padat, industri panas bumi, rekayasa teknologi, paving block, bahan bangunan.

### PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan salah satu sumber energi panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi, berupa air panas, uap air, dan batuan bersama-sama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (UU No. 27, 2003). Panas bumi diharapkan dapat menjadi salah satu sumber energi pilihan utama untuk mengisi kebutuhan energi nasional dalam pembangunan berkelanjutan, manakala potensi tersebut dikelola secara profesional dan efisien (PT. Geo Dipa Energi, 2009). Prinsip pembangunan berkelanjutan merupakan kewajiban mutlak yang melekat pada setiap usaha pengembangan dan peningkatan energi panas bumi sebagai sumber energi yang ramah lingkungan, yakni dengan tetap memelihara kelangsungan ekosistem di sekitarnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah pembangkit listrik (*power generator*) yang menggunakan panas bumi (*geothermal*) sebagai sumber energi penggerakannya. PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit I Dieng, merupakan industri panas bumi yang membawa mineral terlarut yang cukup besar, baik material padat berupa silika hasil *scalling* maupun material berbentuk *sludge* hasil pengendapan dari kolam pengendapan maupun saluran terbuka (*open channel*) yang hingga kini belum bisa dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, persoalan yang paling penting dan mendasar yang perlu segera diatasi adalah bagaimana cara menyimpan secara aman dan/atau memanfaatkan limbah. Berbagai upaya kajian telah

dilakukan, terutama untuk mengolah *sludge* sebagai bahan baku industri lainnya. Seperti kajian pengolahan limbah (air buangan) eksplorasi dan produksi panas bumi Dieng oleh Jurusan Teknik Kimia UPN “Veteran”, Jawa Timur (2006) dimana salah satu produk unggulannya adalah silika powder. Namun silika powder tersebut konsentrasi SiO<sub>2</sub>-nya (91,52%) masih dibawah spesifikasi bahan dasar pembuatan komponen elektronika (> 98%). Demikian pula hasil kajian *recovery* limbah eksplorasi dan produksi panas bumi menjadi silikon sebagai bahan baku semikonduktor yang telah dilakukan oleh Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran (2008). Walaupun kajian tersebut mampu meningkatkan konsentrasi SiO<sub>2</sub> dari 78,25% menjadi 99,55% dalam skala *pilot plant*, namun produk tersebut hingga kini belum juga berhasil diapresiasi oleh industri terkait (PT. Panasonic Shikoku Electronic Batam). Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting, karena disamping dapat memberikan nilai tambah material tersebut juga sekaligus mampu memberikan solusi terhadap permasalahan limbah padat industri panas bumi.

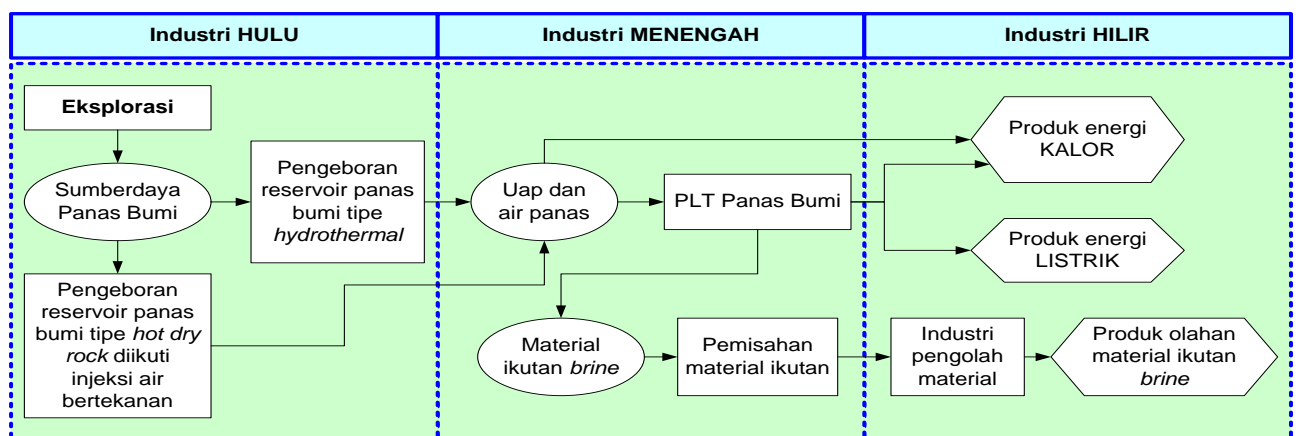
## TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah memperoleh konsep pengelolaan lingkungan kawasan industri panas bumi ditinjau dari aspek pengelolaan dan pemanfaatan limbah padat. Sebagai sasaran penelitian tahun 2011 adalah memperoleh karakter material tersebut dari segi kuantitas dan kualitas baik secara fisik maupun kimianya, serta untuk memperoleh prototip produk *paving block* berbasis material padat hasil *scalling* dan *sludge* pengendapan (*open channel*) sebagai bahan bangunan.

## METODOLOGI

### Kerangka pemikiran

Secara konseptual pengelolaan lingkungan industri panas bumi terdiri dari 3 (tiga) bagian, yakni: Industri Hulu yang menyangkut tentang eksplorasi sumber daya panas bumi; Industri Menengah yang menyangkut tentang eksploitasi panas bumi berupa uap dan air panas dan pemisahan material ikutan *brine*; serta Industri Hilir yang menyangkut tentang pengelolaan produk berupa produk energi kalor, produk energi listrik serta produk olahan material ikutan *brine* (Gambar 1). Industri panas bumi dikenal sebagai industri yang ramah lingkungan manakala pengelolaan material ikutan *brine* dilakukan secara baik dan benar (*good mining practice*).



Gambar 1. Bagan alir pengelolaan industri panas bumi

Konsep pengelolaan lingkungan yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah pengolahan limbah melalui rekayasa teknologi sederhana agar dapat digunakan sebagai bahan baku industri lainnya. Prinsip dasar kerangka pikirnya berbeda dengan kedua kajian terdahulu, dalam konteks ini tidak memurnikan (*recovery*) limbah tetapi bagaimana mengubah karakter limbah tersebut melalui proses teknologi secara sederhana dengan menambahkan sejumlah bahan aditif untuk membentuk material baru. Karena proses teknologinya sederhana dan efektif, diharapkan dalam pengelolaan pemanfaatan limbah tersebut dapat diapresiasi baik oleh masyarakat maupun industri.

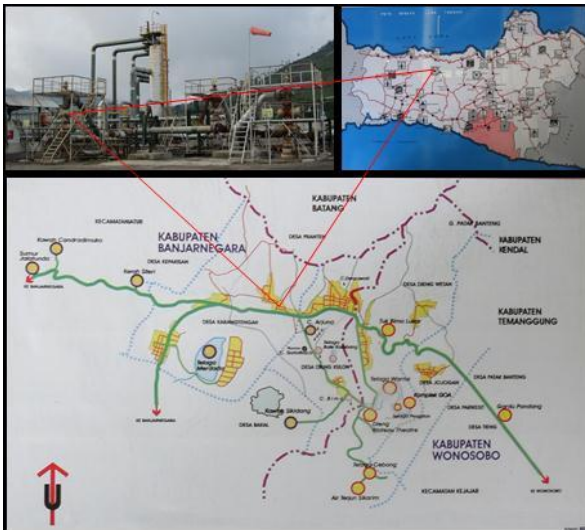
## Metoda

Guna mencapai tujuan tersebut, dengan mengacu hasil penelitian terdahulu dapat diketahui karakter limbah baik yang berbentuk padat maupun yang berbentuk lumpur (*sludge*). Berdasarkan karakter limbah tersebut, limbah berbentuk padat hasil *scalling* akan dibuat material baru sebagai bahan bangunan (*paving block*), sedangkan limbah berbentuk *sludge* hasil pengendapan akan dibuat menjadi material baru (beton/bataringan, silika gel, mineral sintesis) yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri lainnya. Oleh karena itu, untuk melaksanakan kegiatan tersebut pada tahun anggaran ini (2011) telah dilakukan penelitian dengan tahapan sebagai berikut: studi literatur, survey lapangan, karakterisasi bahan, pembuatan prototip produk, karakterisasi dan spesifikasi prototip produk dan prospek pengembangannya.

## HASIL DAN DISKUSI

### Survey lapangan :

Survey lapangan dilakukan di PLTP PT. Geo Dipa Energi Unit I Dieng, lokasi tersebut secara administratif mencakup 2 wilayah kabupaten, yakni terletak di perbatasan antara Kabupaten Banjarnegara dan Kabupaten Wonosobo, Propinsi Jawa Tengah (Gambar 2). Guna keperluan analisis dan eksperimen di laboratorium, telah dilakukan sampling baik terhadap limbah padat hasil *scalling* maupun *sludge* pada kolam pengendapan/saluran terbuka (Gambar 3).



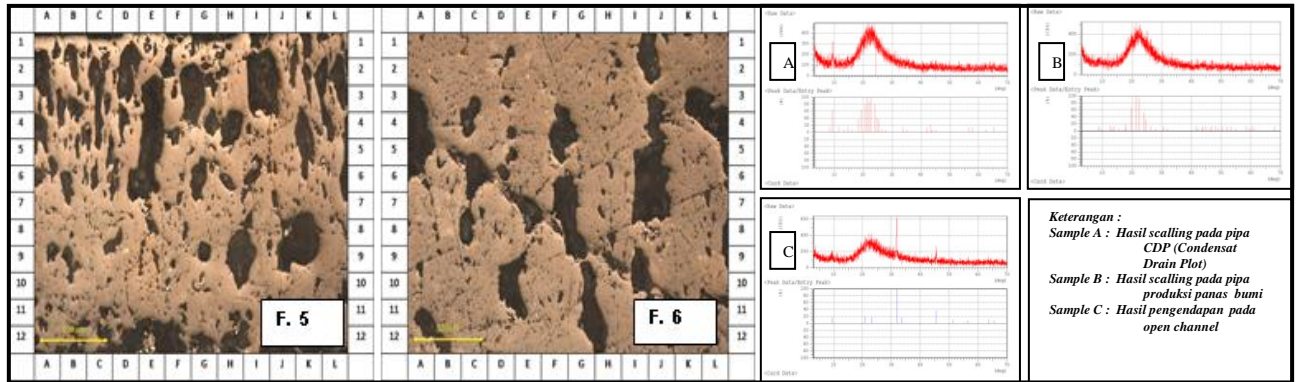
Gambar 2. Lokasi penelitian



Gambar 3. Sampling limbah padat

### Karakter limbah padat

Hasil analisis kimia (*major element*) terhadap sample dalam bentuk padat (hasil *scalling*) dan sample dalam bentuk gel (hasil pengendapan *open channel*), menunjukkan bahwa sample hasil *scalling* mengandung oksida silika tinggi (88%), oksida lainnya seperti aluminium, magnesium, sodium dan potassium pada umumnya kurang dari 2% dan kadar LOI sekitar 8,4%. Sedangkan sample dalam bentuk *sludge*, kandungan oksida silikanya relatif rendah (59%), sementara kandungan oksida lainnya kurang dari 2%, namun kadar LOI-nya cukup tinggi (yaitu sekitar 33%). Kondisi tersebut dapat dipahami mengingat bahwa sample *sludge* dalam kondisi jenuh air. Baik hasil analisis mikroskop maupun analisis XRD (Gambar 4) menunjukkan bahwa komposisi mineral didominasi oleh silika amorf, walaupun juga terlihat adanya puncak-puncak kristal dari mineral-mineral silikalit lainnya.



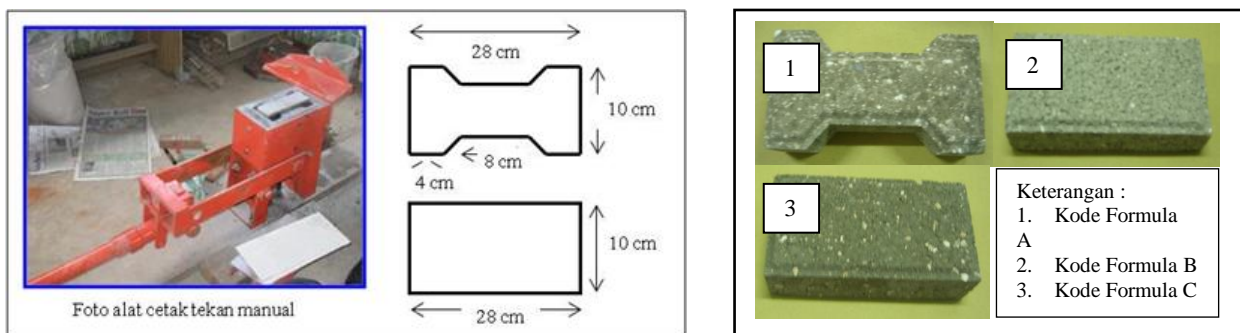
Gambar 4. Mikrograf sayatan poles dan histograf XRD

### Pembentukan prototip paving block

Pembentukan paving block terhadap limbah padat hasil scalling dilakukan dengan menggunakan alat cetak tekan semi mekanis dengan bentuk dan ukuran seperti pada (Gambar 5) dan kondisi sample siap cetak kering mempunyai kelembaban sesuai dengan formula yang telah ditentukan (Tabel 1). Portland Cement (PC) telah lama dikenal sebagai binder (bahan pengikat), demikian pula campuran Fly Ash (FA), Rice Husk Carbon (RHC), Water Glass (WG) dan air juga dapat berperan sebagai binder (Sumarnadi, E.T., 2007). Mekanisme proses pembentukan paving block melalui tahapan kegiatan sebagai berikut: (1) pencampuran dan pengadukan, (2) pengepresan dengan alat cetak tekan semi mekanis/manual, (3) pengeringan suhu kamar/udara terbuka dan (4) pemanasan dalam oven pada suhu 105<sup>o</sup> C selama 24 jam.

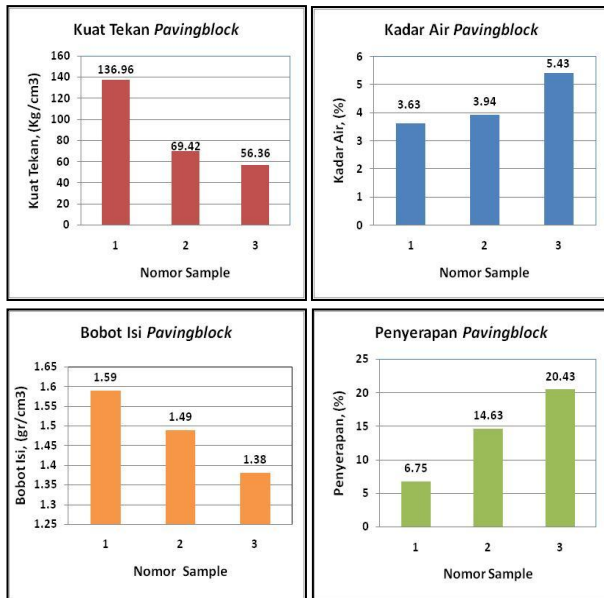
Tabel 1. Formula Paving Block

No	Kode Formula	Komposisi bahan (ratio volume)					
		Limbah Padat	FA	RHC	WG	PC	Air
1	A	4	0,5	0,5	0,75	-	0,25
2	B	4	0,5	0,5	0,75	-	0,25
3	C	4	0,5	0,5	-	0,75	0,25



Gambar 5. Alat cetak tekan serta bentuk dan ukuran paving block

### Karakter dan spesifikasi prototip paving block



Gambar 6. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik

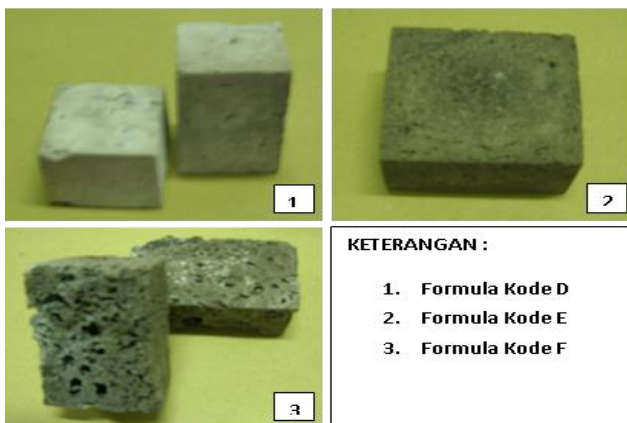
Hasil pengujian kuat tekan dan sifat-sifat fisik benda uji berbentuk kubus diperlihatkan pada Gambar 6. Nampak bahwa komposisi dengan kode A mempunyai nilai kuat tekan tertinggi (136,96 kg/cm<sup>2</sup>) dengan bobot/isi (1,59 kg/cm<sup>3</sup>), sebagai konsekuensinya diikuti oleh kadar air (3,63%) dan nilai penyerapan (6,75%) yang merupakan posisi terendah jika dibandingkan dengan ke-dua komposisi lainnya. Sementara komposisi dengan kode B mempunyai nilai kuat tekan (69,42 kg/cm<sup>2</sup>) dengan bobot/isi (1,49 kg/cm<sup>3</sup>), kadar air (3,94%) dan nilai penyerapan (14,63%). Sedangkan komposisi dengan kode C dengan perekat semen mempunyai nilai kuat tekan (56,36 kg/cm<sup>2</sup>) dengan bobot/isi (1,38 kg/cm<sup>3</sup>), kadar air (5,43%) dan nilai penyerapan (20,43%). Jika ditinjau dari karakter atau sifat-sifat fisik dan mekaniknya, ketiga komposisi masih memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bata (kuat tekan minimal 50 kg/cm<sup>2</sup>), dan hanya komposisi A saja yang masih dapat digunakan sebagai paving block untuk trotoar bagi pejalan kaki dan/atau untuk taman (kuat tekan minimal 100 kg/cm<sup>2</sup>) (SNI 1996).

### Prospek pemanfaatan sludge sebagai beton (bata) ringan

Formulasi bahan baku bata/beton ringan disajikan pada Tabel 2, memperlihatkan ratio volume antar bahan baku. Komposisi dengan kode D diaduk secara manual, sementara kode E diaduk dengan menggunakan alat pengaduk mekanis. Hasil adukan di cetak tuang dan dipanaskan pada suhu 80°C di dalam oven selama 24 jam (Gambar 7).

Tabel 2. Formula beton (bata) ringan

No	Kode	Komposisi bahan (ratio volume)				
		Sludge	FA	RHC	WG	Air
1	D (Mixing)	500	150	-	200	50
2	E (Mixing)	500	150	50	250	50
3	F (Aditif)	500	150	50	250	50



Gambar 7. Hasil pembentukan formula beton(bata) ringan

Hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa formula dengan kode D berwarna putih-abu-abu, relatif ringan namun sedikit rapuh. Sementara formula dengan kode E melalui penambahan RHC dengan proses pengadukan memberikan warna abu-abu kecoklatan, relatif lebih berat dibandingkan formula kode D namun relatif lebih kuat. Sedangkan formula dengan kode F melalui pengadukan dengan penambahan reagen tertentu sehingga terbentuk rongga mampu mengurangi nilai bobot isi (relatif lebih ringan) namun juga diikuti dengan tingkat presisi bentuk yang rendah.

Berdasarkan hasil eksperimen tersebut prospek pengembangan beton (bata) ringan selanjutnya dipilih formula dengan kode E (2).

## KESIMPULAN

- 1 Hasil survey lapangan menunjukkan bahwa untuk mengatasi terjadinya penyumbatan pada pipa produksi di PT. Geo Dipa Energi Unit I Dieng dilakukan dengan sistem kolam pengendapan dan saluran terbuka (*open channel*). Sebagai konsekuensi dari sistem ini dihasilkan limbah padat berupa *sludge* sekitar 5 ton/bulan yang ditampung di TPS (Tempat Penampungan Sementara). Limbah padat berbentuk *sludge* didominasi oleh sekitar 58,91% silika amorf ( $\text{SiO}_2$ ) dengan LOI yang cukup tinggi (32,82%), namun setelah limbah padat (*sludge*) ditampung di dalam TPS kandungan silika amorf ( $\text{SiO}_2$ ) meningkat menjadi sekitar 88,45 % dengan kandungan LOI turun menjadi sekitar (8,44 %).
- 2 Hasil eksperimen di laboratorium terhadap limbah padat yang diperoleh dari TPS dengan *binder* (bahan pengikat) dapat dibentuk 3 (tiga) prototip *paving block*. Spesifikasi *paving block* terbaik mempunyai bobot isi  $1,59 \text{ gr/cm}^3$ , kadar air 3,63 %, penyerapan 6,75 % dengan kuat tekan rata-rata  $136,96 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan limbah padat berbentuk *sludge* pada dasarnya dapat dibentuk menjadi beton (bata) ringan, dengan komposisi terbaik terdiri dari nisbah volume *sludge* (500), FA (150), RHC (50), WG (250) dan Air (50).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI atas kesempatan yang diberikan kepada kami untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan pula kepada Direktur PGE dan Direktur PT. Geodipa Energi Unit I Dieng beserta staf atas izin dan bantuan yang diberikan selama kami melakukan survey lapangan dan sampling limbah padat. Tidak lupa ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Kepala UPT Jampangkulon beserta staf atas bantuannya dalam merealisasikan pembuatan prototip produk (*paving block*). Akhir kata kami sampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada rekan-rekan peneliti, teknisi dan administrasi serta panitia Seminar Geoteknologi 2011 atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian hingga penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jurusan Teknik Kimia UPN “Veteran”, 2006. *Melalui program multi years Riset Andalan Perguruan Tinggi dan Industri (RAPID)*. Jawa Timur.
- Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran, 2008. *Kajian Recovery Limbah Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi menjadi Bahan Silicon*. Laporan Akhir, Bandung.
- PT. GEO DIPA ENERGI, 2009. *Rencana Pengelolaan Lingkungan dan Rencana Pemantauan Lingkungan (RKL-RPL) Triwulan II*. Laporan Pelaksanaan, Dieng.
- SNI NO. 03-0691-1996, tentang Bata Beton (*Paving Block*).
- Sumarnadi E.T., 2007. *Bata Keramik Suhu Bakar Rendah sebagai Bahan Bangunan Konstruksi Ringan*. Prosiding Seminar Geoteknologi, ISBN 978-979-799-227-9. LIPI Press, Jakarta.
- Undang-Undang Republik Indonesia, No.27 tahun 2003, Tentang Panas Bumi.