

Studi Perbandingan Kuat Tekan Shotcrete yang Mengandung Limestone dan Tidak Mengandung Limestone sebagai Perkuatan Terowongan Tambang Bawah Tanah PT. Freeport Indonesia

Comparison Study of Compressive Strength Shotcrete with Limestone Without Limestone as a Reinforcement of Underground Mining PT. Freeport Indonesia

¹Elimelek Aronggear, ²Indra Karna Wijaksana, ³Marlando Elia Mahasisky

^{1,2}*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,*

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email: ¹earongge@fmi.com, ²indra_k_wijaksana@yahoo.com, ³mlumbant@fmi.com.

Abstract. PT. Freeport Indonesia cannot be separated from a shotcrete job as a secondary reinforcement (secondary ground support). To improve the stability of tunnels in underground mines, it is necessary to implement a ground support system in the tunnel. One of them is used in the Underground Mine PT. Freeport Indonesia is shotcrete. A good and correct composition of shotcrete will greatly determine the strength of shotcrete according to the Standard Operational Procedure (SOP) that has been determined by PT Freeport Indonesia. Therefore it is necessary to analyze the strength of shotcrete in the underground mining area of PT. Freeport Indonesia. This study compares the mixture of shotcrete fiber using sand aggregate with limestone and sand aggregate that does without limestone. The purpose of this study is to compare the results of the compressive strength of the UCS sample from a shotcrete mixture that without limestone and shotcrete mixture with limestone. The test results for aggregate without limestone from sample numbers 1 to 7 have an average compressive strength test value of 67.72 MPa this can exceed the standard of 40 MPa which is determined by the UG geotech department and UG engineering QAQC for mix design shotcrete fiber 40 MPa. This happens because the limestone material has a lower grinding value below the standard of 40%. With an aggregate wear testing method with the ASTM C Los Angeles abrasion machine 131-01. While the aggregate with limestone from sample numbers 8 to 15 has an average compressive strength of 64.79 Mpa can exceed the standard 40 MPa. But this happens because the limestone material has a value of the grind level that is higher than the standard of 40%, with aggregate wear testing methods with los angeles abrasion machines in several test samples: 47.62% > 40% Gravel avel 37.5 mm (ASTM C 131-01) and 45.73% > 40% Gravel ≤ 19 mm (ASTM C 131-01). The higher the degree of crushing of a material, the easier the material to be crushed due to pressure. As a result the compressive strength value will decrease.

Keywords: Shotcrete, UCS Test, RDP Test, Limestone

Abstrak. PT. Freeport Indonesia tidak lepas dari suatu pekerjaan Beton Tembak (Shotcrete) sebagai perkuatan sekunder (secondary ground support). Untuk meningkatkan stabilitas terowongan pada tambang bawah tanah maka perlu dilakukan penerapan sistem ground support pada terowongan. Salah satunya yang digunakan di Tambang Bawah Tanah PT. Freeport Indonesia adalah beton tembak (shotcrete). Pengkomposisian shotcrete yang baik dan benar akan sangat menentukan perolehan kekuatan shotcrete sesuai dengan Standard Operational Procedure (SOP) yang telah ditentukan oleh PT Freeport Indonesia. Oleh karena itu perlu adanya analisis kekuatan shotcrete di area tambang bawah tanah PT. Freeport Indonesia. Penelitian ini membandingkan antara campuran shotcrete fiber dengan menggunakan agregat pasir yang mengandung limestone dan agregat pasir yang tidak mengandung limestone. Tujuan penelitian ini akan membandingkan hasil kuat tekan sampel UCS dari campuran shotcrete yang tidak mengandung limestone dan campuran shotcrete yang mengandung limestone. Hasil pengujian untuk agregat tanpa limestone dari sampel nomor 1 sampai 7 mempunyai nilai uji kuat tekan rata-rata sebesar 67.72 MPa hal ini dapat melebihi standar sebesar 40 MPa yang di ditentukan oleh departemen UG geotech dan UG engineering QAQC untuk mix design shotcrete fiber 40 MPa. Hal ini terjadi karena material limestone memiliki nilai kegerusan yang lebih rendah di bawah standar 40%. Dengan metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles ASTM C131-01. Sedangkan untuk agregat yang mengandung limestone dari sampel nomor 8 sampai 15 mempunyai nilai kuat tekan rata-rata sebesar 64.79 MPa dapat melebihi standar 40 MPa. Namun hal ini terjadi karena material limestone memiliki nilai tingkat kegerusan yang lebih tinggi dari standar sebesar 40%, dengan metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles di beberapa sampel pengujian: 47.62% > 40% Gravel ≤ 37.5 mm (ASTM C 131-01) dan 45.73% > 40% Gravel ≤ 19 mm (ASTM C 131-01). Semakin tinggi tingkat kegerusan suatu material maka semakin mudah material tersebut untuk hancur karena tekanan. Akibatnya nilai kuat tekan akan menurun

Kata Kunci: Shotcrete, UCS Test, RDP Test, Limestone

A. Pendahuluan

Latar Belakang

PT. Freeport Indonesia merupakan salah satu perusahaan tambang terbesar di dunia yang daerah operasinya terletak di Kabupaten Mimika, Propinsi Papua. PT. Freeport Indonesia menerapkan dua metode penambangan yaitu Tambang Terbuka (Surface Mine) dan Tambang Bawah Tanah (Underground Mine). Material atau bahan galian yang dihasilkan adalah Tembaga (Cu) dan Emas (Au). Salah satu sistem penambangan bawah tanah yang ada pada PT. Freeport Indonesia adalah metode ambrukan (Block Caving Method) yang diterapkan di Deep Ore Zone (DOZ) Mine, Deep Mine Level Zone (DMLZ) Mine, Big Gossan Mine, dan Grasberg Block Caving (GBC) Mine.

Dengan adanya kegiatan penambangan tersebut, penggalian terowongan bawah tanah menjadi sangat berisiko, dimana akan dilakukan pembukaan terowongan (tunnel) maka keadaan tegangan disekitar terowongan menjadi terganggu dan dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan dapat menyebabkan keruntuhan baik pada atap maupun dinding terowongan tersebut. Maka diperlukan kestabilan terowongan karena sangat berpengaruh terhadap kelancaran kegiatan penambangan seperti keselamatan bagi para pekerja tambang bawah tanah, Pergerakan (Mobilization) peralatan tambang dan juga kegiatan pengembangan tambang bawah tanah seperti UG construction dan UG preproduction, UG operation dan UG production dan area office UG mine lainnya.

Untuk menjaga stabilitas terowongan pada tambang bawah tanah maka perlu dilakukan penerapan sistem ground support (penyangga) pada terowongan.

Salah satunya yang digunakan di Tambang Bawah Tanah PT. Freeport Indonesia adalah beton tembak (shotcrete). Salah satu material pembentuk shotcrete adalah pasir. Pasir merupakan salah satu agregat halus yang dapat meningkatkan kuat tekan shotcrete. Mulai bulan Juni 2018 sampai saat ini, material pasir yang didapat dari area tambang bawah tanah banyak mengandung material limestone. Hal ini dikonfirmasi oleh tim geology underground setelah melakukan pengecekan batuan di area GBC. Oleh karena itu, tim UG QAQC bersama dengan QC Batch Plant bekerja sama untuk melakukan beberapa uji laboratorium untuk mempelajari sifat dan pengaruh material limestone tersebut dalam campuran shotcrete fiber di lapangan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Dari hasil uji kuat tekan yang mengandung limestone dan bukan limestone mempunyai hasil test yang berbeda sesuai desain SF40 MPa dari departement underground engineering QAQC untuk kekuatan shotcrete.
2. Dari hasil uji RDP test (penyerapan energi) yang mengandung limestone dan bukan limestone mempunyai hasil test yang berbeda sesuai desain 360 Joule dari departement underground engineering QAQC untuk kekuatan shotcrete.
3. Dapat mengetahui suatu agregat pasir yang mengandung limestone yang dapat dipakai dalam campuran shotcrete sebagai perkuatan tambang bawah tanah.

B. Landasan Teori

Limestone

Limestone atau batu gamping adalah batuan sedimen karbonat yang terbentuk dari sedimentasi hewan dan tumbuhan karang. Kenampakan struktur luar batuan ini berwarna putih kotor, putih keabu-abuan. Untuk limestone yang masih muda sering dijumpai struktur fosil hewan atau tumbuhan karang (koral) karena proses litifikasi (pembatuan) yang belum sempurna. Meski secara genesa terbentuk dari laut, namun karena proses pergerakan kulit bumi, sering dijumpai endapan limestone yang sudah berjarak puluhan kilometer dari pantai. Berat jenis limestone insitu (bank) berkisar antara 2.2 – 2.4 ton/Bcm, sedangkan berat jenis loose berkisar antara 1.5 – 1.8 ton/lcm. Rumus kimia limestone adalah $CaCO_3$.



Sumber : Limestone KarbonatanTK1-Tk4 (Tertiary kais 1-4) dan Batugamping Ekmai

Gambar 1. Limestone

Shotcrete

Shotcrete adalah aplikasi mesin penyemprot beton yang ditemukan pada tahun 1910 oleh Carl Ethan Akeley (1864-1926). Kemudian berkembang dengan berbagai metode dan aplikasi baru seperti saat ini. Shotcrete memiliki banyak spesifikasi dan metode penggunaan, sesuai dengan kebutuhan pekerjaan, lokasi pekerjaan, waktu dan durasi pekerjaan, dan faktor lainnya. (Jeffrey Franky Tumatar, 2009). Shotcrete secara umum adalah campuran antara semen, agregat, air, fiber plastik atau baja, dan additive ataupun admixture yang disemprotkan dengan menggunakan udara bertekanan tinggi. Kata shot/tembak di sini berarti disemprotkan dengan udara bertekanan tinggi sekitar 6000 Psi.

Tekanan tinggi diperlukan untuk dapat menyemprotkan beton dengan berbagai macam campurannya yang sangat liat menggumpal dan keras. Campuran shotcrete dirancang untuk segera bereaksi sesaat setelah semua bahan dicampur dalam mesin pengaduk.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel UCS

Nomor	Type	UCS No	Date Of Samping	UCS Result (Mpa)			
				7 Days	28 Days	28 Days	Average
1	Aggregate Without Limestone	324	06-Feb-18	50,91	73,54	73,82	73,68
2	Aggregate Without Limestone	358	22-Feb-18	40,73	62,79	71,56	67,18
3	Aggregate Without Limestone	372	19-Mar-18	50,24	61,37	70,71	66,04
4	Aggregate Without Limestone	393	02-Apr-18	58,83	71,81	70,42	71,12
5	Aggregate Without Limestone	443	02-May-18	46,38	63,92	64,2	64,06
6	Aggregate Without Limestone	438	07-May-18	55,43	72,4	64,2	68,3
7	Aggregate Without Limestone	480	11-Jun-18	51,19	65,9	61,37	63,63
8	Aggregate With Limestone	495	25-Jun-18	45,54	70,14	70,42	70,28
9	Aggregate With Limestone	502	30-Jun-18	49,78	66,75	65,62	66,19
10	Aggregate With Limestone	508	04-Jul-18	51,13	67,88	66,75	67,32
11	Aggregate With Limestone	513	07-Jul-18	50,91	56,85	57,7	55,15
12	Aggregate With Limestone	517	10-Jul-18	45,25	55,43	53,45	54,44
13	Aggregate With Limestone	529	19-Jul-18	54,59	62,51	67,6	65,06
14	Aggregate With Limestone	549	05-Aug-18	57,41	71,84	71,27	71,56
15	Aggregate With Limestone	558	12-Aug-18	58,27	68,73	68,88	68,31
Average (Aggregate without Limestone)				50,53	67,39	68,04	67,72
Average (Aggregate with Limestone)				51,61	65,02	65,21	64,79



Sumber : dokumen PTFI

Gambar 2. Shotcrete

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

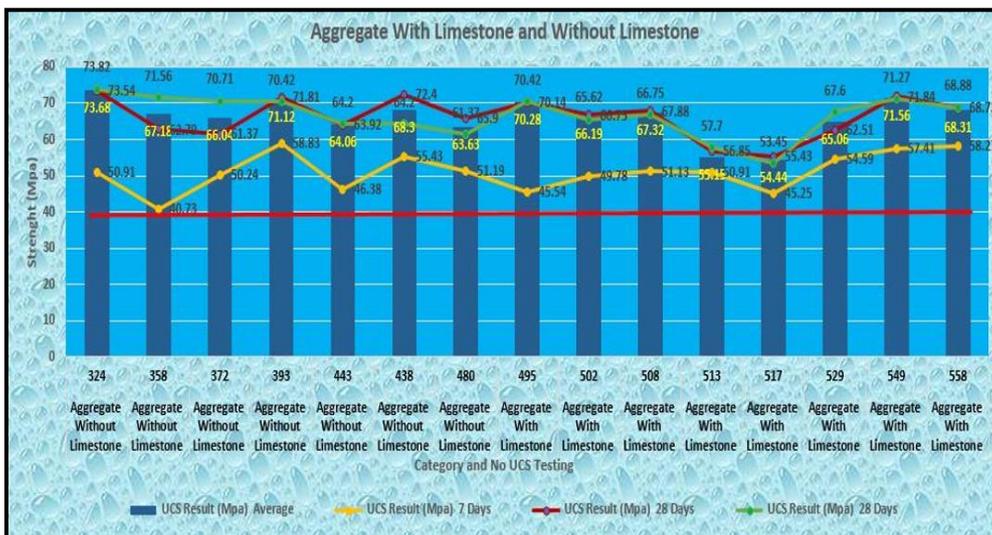
Pengujian Kuat Tekan Beton (Unconfined Compressive Strength)

Hasil pengujian sample UCS Testing yang berumur 7 hari dan 28 hari pada gambar 3 di bawah ini:

Hasil agregat tanpa limestone dari sampel nomor 1 sampai 7 mempunyai nilai uji kuat tekan rata-rata sebesar 67.72 MPa hal ini dapat melebihi standarsebesar 40 MPa yang di ditentukan oleh departeman UG geotech dan UG engineering QAQC untuk mix design shotcrete fiber 40 MPa. Hal ini terjadi karena material limestone memiliki nilai kegerusan yang lebih rendah di bawah standar

40%. Dengan metode pengujian Los Angeles agregat dengan mesin abrasi los angeles (Technical Note 75 Aggregate Railway Ballast AS 2758.7-2009 Class L sesuai dengan standar PTFI). Hasil agregat yang mengandung limestone dari sampel nomor 8 sampai 15 mempunyai nilai kuat tekan rata-rata sebesar 64.79 MPa dapat melebihi standar 40 MPa. Namun hal ini terjadi karena material limestone memiliki nilai tingkat kegerusan yang lebih tinggi dari standar sebesar 40%, dengan metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles di beberapa sampel pengujian: 47.62% > 40% Gravel ≤ 37.5 mm dan 45.75% > 40% Gravel ≤ 19 mm (Technical Note 75 Aggregate Railway Ballast AS 2758.7-2009 Class L sesuai dengan standar PTFI). Semakin tinggi tingkat kegerusan suatu material maka semakin mudah material tersebut untuk hancur karena tekanan. Akibatnya nilai kuat tekan akan menurun.

Dari tabel hasil pengujian sampel UCS ini disimpulkan bahwa hasil kuat tekan sampel UCS yang tidak mengandung agregat limestone lebih tinggi dari kuat tekan sampel UCS yang mengandung limestone. Hal ini terjadi



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian UCS

karena material limestone memiliki nilai tingkat kegerusan yang lebih tinggi dari standar sebesar 40%. Semakin tinggi tingkat kegerusan suatu material maka semakin mudah material tersebut untuk hancur karena tekanan. Akibatnya nilai kuat tekan akan menurun. Hal ini bisa dilihat dari jumlah hasil kuat tekan sampel umur 28 harinya.

Hasil pengujian kuat tekan beton baik yang menggunakan limestone dan tidak menggunakan limestone masih memenuhi kriteria standar penggunaan perusahaan minimal sebesar 40 MPa, sedangkan yang didapatkan lebih besar dari 40 MPa. Terdapat pengaruh kadar air, spesifik gravity, dan sieve analysis terhadap kuat tekan shotcrete fiber yang diuji. Kadar air perlu dilakukan pengecekan sebelum pencampuran karena pasir yang ditampung di stock pile batch plant biasanya sudah mengandung air di dalam material pasir tersebut sebelum digunakan di batch plant.

Hal ini sangat berpengaruh terhadap hasil kuat tekan shotcrete fiber dan juga harus dilakukan pengecekan slump test, apabila belum dicek kadar air tersebut maka hal yang akan terjadi adalah air yang terdapat pada pasir biasa melebihi dari standar mix design yang telah ditentukan dan juga nilai slump test akan semakin tinggi dan

mengalami segregasi sebelum spraying shotcrete di tambang bawah tanah. Sehingga nilai uji kuat tekan (UCS) shotcrete fiber menjadi menurun. Sedangkan Specific Gravity harus diuji, karena jika tidak dilakukan pengujian maka tidak akan diperoleh nilai berat jenis curah dan berat jenis jenuh kering permukaan (JKP) dan berat jenis semu dan penyerapan dari agregat kasar sehingga hasil uji kuat tekan kurang dari standar 40 MPa dan juga standar RDP 360 Joule.

Sieve analysis dilakukan untuk mengetahui presentase ukuran benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap materil pasir yang digunakan untuk campuran shotcrete fiber. Hal ini kalau tidak dilakukan maka jika ukuran pasir yang terlalu besar ditambahkan pada pencampuran shotcrete fiber di batch plant pada saat spraying shotcrete akan tersumbat pada alat nozzel dan juga mesin strok pump, sehingga memperlambat aktivitas spraying shotcrete di tambang bawah tanah.

Penyerapan Energi (Energy Absorption)

Dari hasil testing sampel RDP (Round Determinant Panel) di laboratorium UG engineering QAQC DOZ Mine yang dijelaskan pada tabel 2 dan gambar 4.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sampel RDP

Type	RDP No	Date Of Sampling	RDP Result (Joule)			Counting Fiber		
			28 Days		Average	fiber		Average
Aggregate Without Limestone	208	3-Feb-18	622	483	552.5	28.0	25.4	26.68
Aggregate Without Limestone	219	22-Feb-18	503	442	472.5	28.2	20.4	24.30
Aggregate Without Limestone	221	9-Mar-18	475	462	468.5	21.07	29.01	25.04
Aggregate Without Limestone	223	19-Apr-18	370	419	394.5	25.08	25.08	25.08
Aggregate Without Limestone	233	2-May-18	397	407	402	23.1	20.01	21.555
Aggregate Without Limestone	234	7-May-18	456	642	549	29.2	43.1	36.15
Aggregate Without Limestone	240	11-Jun-18	409	466	437.5	27.1	29.4	28.25
Aggregate With Limestone	242	25-Jun-18	353	362	357.5	16.9	17	16.95
Aggregate With Limestone	244	30-Jun-18	404	512	458	30.7	29.5	30.1
Aggregate With Limestone	246	4-Jul-18	259	303	281	12.5	14.9	13.7
Aggregate With Limestone	247	7-Jul-18	434	546	490	28.2	33.5	30.85
Aggregate With Limestone	248	10-Jul-18	480	538	509	27.3	30	28.65
Aggregate With Limestone	250	19-Jul-18	35	37	36	1.6	2.2	1.9
Aggregate With Limestone	251	5-Aug-18	290	341	315.5	27.8	25.7	26.75
Aggregate With Limestone	254	12-Aug-18	594	518	556	32.8	28.5	30.65



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian RDP

Berdasarkan tabel hasil pengujian RDP di atas dapat disimpulkan bahwa energi penyerapan tergantung pada jumlah fiber yang ada dalam campuran shotcrete fiber. Jika jumlah fiber sesuai standar (minimal 179 fiber untuk setiap 1000 ml campuran shotcrete) maka energi penyerapan dapat mencapai minimal 360 Joule. ASTM C-1550 Jika jumlah fiber kurang dari standar 25-30 ea, maka nilai energi penyerapannya tidak mencapai 360 Joule. Ketebalan dan penyebaran fiber dalam sampel RDP juga mempengaruhi hasil uji RDP. Jika tebal sampel RDP kurang dari standar (70 – 80 mm) maka nilai energi penyerapannya akan kurang dari 360 Joule. sama halnya dengan penyebaran fiber dalam sampel RDP. Jika waktu pencampuran di batch plant (mixing time) kurang dari standar 2 menit (untuk setiap 1 m³ campuran) maka fiber tidak tersebar merata. Hal ini dapat menyebabkan ada beberapa bagian sampel yang kekurangan fiber sehingga nilai energi penyerapannya tidak mencapai 360 Joule. Hasil grafik pengujian sampel RDP di atas dapat menjelaskan nilai sampel RDP yang paling tinggi: 552.5 Joule dan nilai paling rendah: 36 Joule dan hasil counting fiber yang paling tinggi: 36.15 mm dan nilai paling rendah: 1.9 mm beserta nomor sampel RDP. Jika dilihat

dari gambar diatas maka pembuatan sampel RDP casting dengan cetakan baja yang belum dilepas di lapangan dan sampel RDP yang sudah dilepas dari cetakan dan siap untuk melakukan pengujian sampel RDP dengan menggunakan mesin RDP test. Setelah dilakukan pengetesan sampel RDP selesai sampel RDP tersebut dikeluarkan dari mesin RDP dan dilakukan perhitungan jumlah fiber dari setiap bagian sampel RDP test.

D. Kesimpulan

Dari Studi Analisis ini membandingkan antara campuran shotcrete fiber dengan menggunakan agregat pasir yang mengandung limestone dan agregat pasir yang tidak mengandung limestone. Terowongan tambang bawah tanah PT. Freeport Indonesia dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian keausan (Los Angeles) grading B dengan material agregat limestone memiliki nilai tingkat kegerusan yang lebih tinggi dari standar 40%, diperoleh hasil pengujian dengan metode pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi Los Angeles sebesar 47.62% > 40% Gravel ≤ 37.5 mm (Technical Note 75 Aggregate Railway Ballast AS

- 2758.7-2009 Class L sesuai dengan standar PTFI). Artinya semakin tinggi tingkat kegerusan suatu material maka semakin mudah material tersebut untuk hancur karena tekanan, akibatnya nilai kuat tekan akan menurun.
2. Hasil pengujian keausan (Los Angeles) grading 2 dengan material agregat limestone memiliki nilai tingkat kegerusan yang lebih tinggi dari standar 40%. Dengan metode pengujian keausan agregat menggunakan mesin abrasi Los Angeles mempunyai hasil pengujian Los Angeles: 45.75% > 40% Gravel ≤ 19 mm (Technical Note 75 Aggregate Railway Ballast AS 2758.7-2009 Class L sesuai dengan standar PTFI). Semakin tinggi tingkat kegerusan suatu material maka semakin mudah material tersebut untuk hancur karena tekanan. Akibatnya nilai kuat tekan akan menurun.
 3. Dari hasil pengujian sampel UCS berdasarkan SNI 03-1974-1990 ini disimpulkan bahwa hasil kuat tekan agregat tanpa limestone dari sampel nomor 1 sampai 7 mempunyai nilai uji kuat tekan rata-rata sebesar 67.72 MPa hal ini dapat melebihi standar sebesar 40 MPa, sedangkan untuk agregat yang mengandung limestone dari sampel nomor 8 sampai 15 mempunyai nilai kuat tekan rata-rata sebesar 64.79 MPa dapat melebihi standar 40 MPa.
 4. Berdasarkan tabel hasil pengujian RDP disimpulkan bahwa energi penyerapan tergantung pada jumlah fiber yang ada dalam campuran shotcrete fiber. Jika jumlah fiber sesuai standar (minimal 179

fiber untuk setiap 1000 ml campuran shotcrete) maka energi penyerapan dapat mencapai minimal 360 Joule. ASTM C-1550 Jika jumlah fiber kurang dari standar 25-30 ea, maka nilai energi penyerapannya tidak mencapai 360 Joule. Ketebalan dan penyebaran fiber dalam sampel RDP juga mempengaruhi hasil uji RDP. Jika tebal sampel RDP kurang dari standar (70 – 80 mm) maka nilai energi penyerapannya akan kurang dari 360 Joule. Sama halnya dengan penyebaran fiber dalam sampel RDP. Jika waktu pencampuran di batch plant (mixing time) kurang dari standar 2 menit (untuk setiap 1 m³ campuran) maka fiber tidak tersebar merata. Hal ini dapat menyebabkan ada beberapa bagian sampel yang kekurangan fiber sehingga nilai energi penyerapannya tidak mencapai 360 Joule.

E. Saran

1. Untuk ke depan dari hasil penelitian ini menganjurkan agar jenis material sedimen yang akan digunakan untuk shotcrete adalah campuran material sedimen karbonat, sedimen klastik dan batuan metamorf hornfels agar dapat menghasilkan jenis shotcrete dengan kualitas baik diseluruh area tambang bawah tanah PT. Freeport Indonesia.
2. Setelah dilakukan studi perbandingan kuat tekan shotcrete yang mengandung limestone dan tidak mengandung limestone maka saya dapat menyarankan kepada pihak departemen UG Engineering QAQC untuk melakukan pengecekan bulanan

terhadap material pasir yang berada di New Crusher dan Barmag Chruser di Batch plant CIP 72 sebelum digunakan sebagai bahan pencampur shotcrete. Perlu juga dilakukan pengecekan materialnya apakah sudah dicampur oleh operator di lapangan pada masing masing stock pile dengan ukuran yang sudah ditentukan oleh QC Central Cervice Batch Plant CIP 72.

3. Dari hasil penelitian ini perlu dilakukan pengujian lanjutan seperti Needle Test di lapangan setelah pengaplikasian spraying shotcrete, slump test lapangan dan perhitungan persentase rebound shotcrete (persentase shotcrete yang terpakai pada saat pengaplikasian).

Daftar Pustaka

- Anne, M Carpenter, October 1999. "Management of Stockpiles". IEA CoalResearch.
- Anonim., 2002, "Annual Book of ASTM C-33", ASTM International, USA.
- Anonim, 200, "Annual Book of ASTM C-1550", ASTM International, USA.
- Anonim.,1990 "SNI 03-1974-1990 metode pengujian kuat tekan", BSN, Indonesia.
- Anonim.,2002 "SNI 03-6811-2002 Shotcrete", BSN, Indonesia.
- Anonim, 2009, "Technical Note 75 Aggregate Railway Ballast AS 2758.7-2009 Class L", Standarisasi PT. Freeport Indonesia.
- Murdock, L.J., and Brook, K.M., 1991, "Bahan – bahan dan Praktek Beton Edisi Keempat", Erlangga, Jakarta.
- Mustofa, Muh. Haris. 2008, "Kajian Permeabilitas dan Porositas

Beton dengan Pozzolan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen", Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Neville, Brooks. 2008. "Concrete Technology", Longman Group, United Kingdom.