

## PROSIDING XXVII DAN KONGRES X PERHAPI 2018

### Kajian Karakteristik Fisik Dan Mekanik Pastefill Yang Digunakan Pada Penambangan Emas Bawah Tanah Metode *Cut And Fill* Di PT. Nusa Halmahera Minerals–Gosowong Halmahera

RAZAK KARIM, ANITA KUSRIMA

<sup>1,2</sup> Teknik Pertambangan Universitas Khairun Ternate

<sup>1</sup> Teknik Pertambangan Universitas Muhammadiyah Maluku Utara

#### ABSTRAK

PT. Nusa Halmahera Minerals (NHM) merupakan perusahaan pertambangan emas yang beroperasi di daerah Kencana Gosowong Desa Tabobo Kecamatan Malifut Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara. Dari hasil evaluasi, metode *Underhand Cut and Fill* (UCF) dipilih karena beberapa pertimbangan ; *cash flow* rendah, *recovery* tinggi, dan lebih aman saat berhadapan dengan kondisi batuan yang buruk. Namun permasalahan yang dihadapi adalah mengenai kekuatan material *backfill* jenis *pastefill* yang digunakan untuk bertindak sebagai atap dan dinding terowongan produksi bagi para pekerja dan peralatan yang berada disekitarnya. Kajian sifat fisik dan mekanik *pastefill* ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium Geomekanika Puslitbang Tekmira Kementerian ESDM di Bandung. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung kekuatan fisik dan mekanik *pastefill* yang digunakan untuk mengisi ruang- ruang kosong pada terowongan produksi setelah pengambilan bijih emas. Hasil uji sifat fisik vulkanik tuff terlihat adanya peningkatan bobot isi dari kondisi kering ke kondisi jenuh rata-rata 0,17 gr/cm<sup>3</sup>. Kadar air pun mengalami peningkatan dari kondisi natural ke kondisi jenuh rata-rata 20.82%, hal ini dikarenakan jumlah air yang masuk ke dalam pori-pori meningkat. Banyaknya kadar air asli rata-rata sebesar 23,83% dan kadar air jenuh rata-rata 44.65%, derajat kejenuhan berkisar 14.74–91.2% serta nilai porositasnya 38.12–43.94% dan angka pori rata-rata 0.7. Penggunaan *pastefill* untuk mengisi ruang-ruang kosong (*stope*) pada tambang emas bawah tanah Kencana harus dirancang dengan nilai  $\sigma_c$  berkisar 0.5–2 MPa,  $\sigma_t$  berkisar 0.05–0.2 MPa, kohesi ( $c$ ) berkisar 0.07–0.3 MPa dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) berkisar 30<sup>0</sup>–45<sup>0</sup>, sebagai persyaratan sifat mekanik untuk melakukan penambangan bijih disamping dinding *pastefill* harus memenuhi UCS minimal 0.5 MPa, sedangkan penambangan dibawah *pastefill*, UCS minimal 1.2 MPa. Blok *pastefill* di dalam *stope* yang diinterpretasi dari hasil uji diperoleh kondisi stabil untuk dilakukan penambangan dengan *pastefill* sebagai dinding terowongan yaitu kandungan semen 6% pada umur 14 hari, kandungan semen 12% pada umur 7 hari, dan kandungan semen 14% pada umur 3 hari. Sedangkan jika penambangan dilakukan dibawah *pastefill* atau sebagai atap terowongan menunjukkan kondisi tidak stabil kecuali persentase kandungan semen 14% pada umur 28 hari akan stabil, artinya penambangan dapat dilakukan pada umur *pastefill* antara 21-28 hari dengan diberi perkuatan. Desain sifat mekanik *pastefill* disesuaikan dengan rencana penambangan, jika siklus penambangannya membutuhkan waktu yang sangat cepat maka persentase semen akan dinaikkan, dan jika siklus penambangannya membutuhkan waktu yang lama, maka persentase semen akan dikurangi dengan menunggu umur *pastefill* mencapai kekuatan dan faktor keamanan yang dipersyaratkan untuk melakukan penambangan berikutnya, baik disamping maupun dibawahnya.

Kata Kunci : *pastefill*, sifat fisik, sifat mekanik, *stope*, kekuatan.

## 1. PENDAHULUAN

Ada dua metode penambangan secara umum yang berbeda yang selama ini dikenal pada kegiatan pertambangan. Awalnya metode penambangan terbuka yang sering disebut *surface mining*, yang meninggalkan bukaan setelah bijih telah digali. Kemudian dikenal dengan metode penambangan bawah tanah yang disebut dengan *underground mining* dimana secara teknis dan ekonomi tidak bisa ditambang secara terbuka (*surface mining*). Void besar yang dibentuk dalam proses operasi penambangan bawah tanah umumnya ditimbun kembali dengan menggunakan tailing pabrik yang tersisa dari pengolahan bijih mineral atau juga menggunakan batu atau pasir alam. Material *backfill* mengacu pada setiap bahan limbah, tanah atau batuan yang ditempatkan kedalam *stope* untuk tujuan pembuangan atau dalam pekerjaan beberapa fungsi rekayasa. *Hydraulic fill* (HF), *cemented hydraulic fill* (CHF) dan *paste fill* (PF) adalah beberapa jenis *backfill* yang saat ini digunakan di seluruh dunia. Maka peneliti memfokuskan studi penggunaan *paste fill* yang dikaji dari pengaruh penggunaan semen terhadap kekuatan fisik dan mekaniknya berdasarkan pengamatan di lapangan dan

pengujian di laboratorium. Hal ini menarik karena material *backfill* jenis *paste fill* ini hanya diterapkan pada penambangan emas bawah tanah di PT. NHM di Gosowong Pulau Halmahera dan merupakan rekomendasi penelitian kami sebelumnya, *paste fill* yang digunakan di PT. NHM ini hanya satu-satunya diterapkan pada tambang emas bawah tanah di Indonesia (Gambar 1). Kemudian pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Geomekanika Puslitbang Tekmira di Bandung.



Gambar 1. Peta lokasi ladang emas Gosowong pada skala peta Indonesia

*Backfill* merupakan suatu komponen yang sangat penting dari operasi penambangan *cut and fill*, mengacu pada setiap material limbah

dan tanah/batuan yang ditempatkan dalam void ditambang bawah tanah bukan untuk tujuan transmisi tegangan batuan, tetapi untuk mengurangi relaksasi massa batuan sehingga batuan itu sendiri akan mempertahankan kapasitas bebannya dan akan meningkatkan penumpahan beban untuk pilar (Barrett dkk, 1978). Void yang ditimbun pada penyelesaian ekstraksi bijih dan *backfill* memberikan stabilitas batuan lokal dan regional sementara sebagian menghilangkan lombong (*stope*) berdekatan untuk melanjutkan tahapan penambangan berikutnya.

Dalam kasus pengisi semen (*cemented fill*), biaya bahan pengikat merupakan komponen biaya yang sangat besar, yang meningkat secara substansial ditambang terpencil karena biaya transportasi yang sangat besar. Oleh karena itu, untuk mengurangi biaya semen merupakan faktor penting dalam mengurangi biaya pengisi semen (*cement fill*). Namun, perlu untuk memastikan bahwa kandungan bahan pengikat semen minimum yang diperlukan untuk stabilitas dari *stope* yang ditimbun kembali digunakan ketika dinding *stope* terpapar melalui tahapan pertambangan. Sehingga perlu dilakukan suatu penelitian tentang kajian karakteristik fisik dan mekanik *paste fill* yang digunakan pada penambangan emas bawah tanah metode *cut and fill* di PT. Nusa Halmahera Minerals–Gosowong Halmahera.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan suatu metodologi yang dimulai dari studi literatur, pengamatan dan pengambilan data lapangan baik data primer maupun data sekunder, uji contoh di laboratorium, pengolahan dan analisis data sampai pada penyusunan laporan.

### 2.1. Pengambilan Sampel dan Pengamatan di Lapangan

Lokasi pengambilan data lapangan ditentukan dengan melakukan survei lapangan terlebih dahulu di lokasi, dimana lokasi yang dipilih adalah daerah Konsesi Pertambangan Emas PT. Nusa Halmahera Minerals di Gosowong Pulau Halmahera. Penelitian dilakukan dengan suatu pengamatan penerapan material *paste fill* dengan penggunaan semen sebagai bahan pengikat, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan material pasir vulkanik (*vulcanic tuff*) di beberapa lokasi sebagai bahan utama pembuatan *paste fill*. Pengambilan sampel *vulcanic tuff* ini kemudian dibawah ke

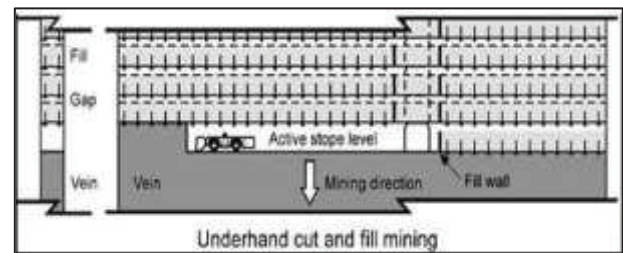
laboratorium untuk dilakukan pengujian dengan desain contoh yang akan dicampur dengan bahan pengikat semen yang memiliki variasi persentase kandungan semen yang berbeda-beda.

## 22. Pengujian di Laboratorium.

Pada tahapan ini adalah melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari material pasir vulkanik yang berada di lokasi. Pengujian laboratorium untuk contoh *pastefill* direncanakan sebelumnya seperti tertuang didalam proposal penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Mekanika Batuan Universitas Khairun Ternate, namun Laboratorium yang ada belum lengkap sehingga dilanjutkan pengujian di Laboratorium Geomekanika Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral di Bandung. Pengujian yang dilakukan adalah uji sifat fisik, uji kuat tekan, uji triaksial dan uji kuat geser. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh nilai bobot isi ( $\gamma$ ), kuat tekan ( $\sigma_c$ ), kuat tarik ( $\sigma_t$ ), modulus Young (E), nisbah Poisson ( $\nu$ ), serta kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ). Desain contoh *pastefill* yang digunakan, diperoleh dengan cara pengambilan beberapa material campuran yaitu semen, vulkanik tufa dan air kemudian dibuat berbentuk silinder seperti halnya pengujian contoh batuan dari inti bor. Sehingga kualitas dan kekuatan *pastefill* dapat diperhitungkan sesuai dengan kondisi *interface* antara batuan-*pastefill* serta kekuatan menahan dirinya sendiri setelah dimasukkan kedalam lubang bukaan bekas penambangan.

## 3. METODE PENAMBANGAN

Secara teknis maupun ekonomis, telah dievaluasi 5 (lima) metode penambangan sebagai berikut: Tambang terbuka (*Open Pit*), Gali-timbun ke bawah (*Underhand Cut and Fill*, UCF), Gali-timbun ke atas (*Overhand Cut and Fill*, OCF), Metode ambrukan (*Caving Method*), dan Pelombongan berjenjang (*Long Hole Stopping*). Dari beberapa alternatif metode penambangan yang dievaluasi akhirnya diputuskan penambangan di Kencana dilakukan dengan metode *underhand cut and fill* dan *long hole stope*. Pada penelitian ini hanya terfokus pada metode *underhand cut and fill* yang diilustrasikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema *underhand cut and fill mining*

## 4. DATA DAN PENGOLAHAN

Pengolahan data pengujian contoh *pastefill* di laboratorium dengan berbagai macam variasi persentase pencampuran semen dan waktu pengeringan (*curing time*) contoh akan digunakan metode statistik dengan program serta merujuk pada rumus dan teori yang relevan, sehingga interpretasi sifat fisik dan mekanik dapat diperoleh.

### 4.1. Penggunaan *Backfill* Pada Lubang Bukaan *Stope* dan Manfaatnya

Penggunaan *pastefill* pada tambang bawah tanah sangat berperan penting dalam meningkatkan baik teknik penambangan atau ekstraksi bijih dan keamanan kegiatan penambangan bawah tanah, proses desain harus mempertimbangkan faktor stabilitas lubang bukaan, kadar bijih dan harga komoditas. Keruntuhan bawah tanah yang terus-menerus terjadi pada kondisi massa batuan yang buruk harus dipertimbangkan, bisa jadi dapat mempersingkat umur tambang. Sebagai contoh, keputusan untuk tidak *backfill* dalam suatu situasi tertentu mungkin resiko mengekstraksi bijih atau menciptakan kondisi penambangan yang tidak aman, sedangkan disisi lain, keputusan untuk *backfill* dapat mengakibatkan *mining cost* bertambah. Intinya adalah bahwa kita perlu tahu mengapa harus *backfill* dengan mengeluarkan tambahan biaya *backfill* dibandingkan manfaatnya.

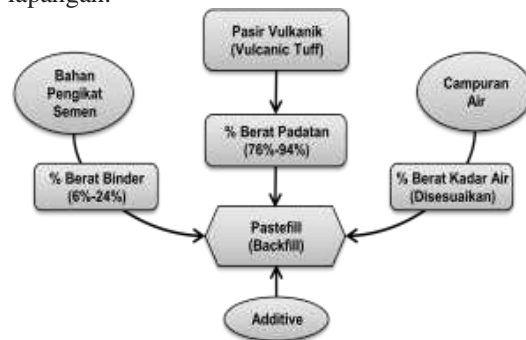
Hal lain yang dilihat adalah persoalan teknis, dimana peningkatan stabilitas lokasi tambang dapat dicapai melalui penempatan sistematis *backfill* diseluruh tambang selama periode tertentu. Misalnya Tambang Denison masa lalu yang berproduksi di Elliot Lake, Ontario Kanada atau tambang emas yang dalam di Witwatersrand Basin di Afrika Selatan, penggunaan *backfill* telah berhasil membantu dalam mitigasi *rockbursts* dan penambangan bijih pada kondisi massa batuan yang buruk dan sangat tertekan.

Penggunaan *backfill* pada tambang bawah tanah dapat dirancang dalam berbagai jenis, salah satunya yang digunakan oleh PT. Nusa Halmahera Minerals di lokasi *underground* Kencana-Halmahera adalah *paste backfill* (PBF) atau istilah dilokasi sering disebut *paste fill*. Kemajuan penggunaan *backfill* tipe ini terkait dengan aspek yang berbeda dari *paste fill*, misalnya memaksimalkan campuran material dengan bahan pengikat, jaringan pipa transportasi dan kontrolnya yang lebih baik, persiapan pengisian ke dalam lubang bawah tanah, saling keterkaitan material, dan interaksi *interface* antara pasta-batuan.

#### 4.2. Pengujian di Laboratorium Untuk Mengetahui Prilaku Fisik dan Mekanik *Paste fill*

Penelitian tentang perilaku fisik dan mekanik *paste fill* untuk lokasi yang lain sebelumnya telah dilakukan, dari hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sifat mekanik *paste fill* dengan bahan pengikat semen tergantung pada karakteristik fisik dan kimia seperti mineralogi tailing atau material alam dan distribusi ukuran partikel, kadar air, jenis bahan pengikat dan proporsionalnya (Lawrence 1992, Stone 1993, Benzaazoua dkk. 1999b, Benzaazoua dan Belem 2000). Sifat mekanik ini sangat bervariasi dalam perjalanan *curing time*. *Paste fill* harus didesain sehingga akan mencapai target nilai kuat tekan pada umur 28 hari dan seterusnya. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih campuran yang optimal untuk setiap jenis material dengan bahan pengikatnya. Sifat mekanik akan menentukan kondisi kekuatan dan ketahanan dari *paste fill*, pencampuran optimal juga harus memperhitungkan biaya operasi *backfilling*. Gambar 3 berikut merupakan skema pencampuran *paste fill* yang dibuat untuk pengujian di laboratorium sesuai dengan di

lapangan.



Gambar 3. Skema komponen pembuatan *paste fill*

##### 4.2.1. Uji Sifat Fisik Vulkanik Tuff

Uji sifat fisik vulkanik tuff dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik yaitu bobot isi asli (*natural density*,  $\rho_n$ ), bobot isi kering (*dry density*,  $\rho_d$ ), bobot isi jenuh (*saturated density*  $\rho_s$ ), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*saturated water content*), derajat kejenuhan (*degree of saturated*,  $S_r$ ), porositas (*porosity*,  $n$ ) dan angka pori (*void ratio*,  $e$ ). Sehingga diperoleh data uji sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari hasil pengujian sifat fisik ini terlihat adanya peningkatan bobot isi vulkanik tuff dari kondisi kering ke kondisi jenuh rata-rata sebesar 0,17 gr/cm<sup>3</sup>. Kadar air pada vulkanik tuff pun mengalami peningkatan dari kondisi natural ke kondisi jenuh yaitu rata-rata berkisar antara 20.82%. Hal ini dikarenakan jumlah air yang masuk ke dalam pori-pori (rongga) vulkanik tuff meningkat. Banyaknya kadar air asli rata-rata pada contoh dalam penelitian ini adalah sebesar 23,83% dan kadar air jenuh rata-rata adalah sebesar 44,65%. Pada hasil perhitungan ini juga diperoleh nilai derajat

Tabel 1. Sifat fisik vulkanik tuff

Kode Sample	Natural Density (gr/cm <sup>3</sup> )	Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	Saturated Density (gr/cm <sup>3</sup> )	App. Specific Density (gr/cm <sup>3</sup> )	True Specific Density (gr/cm <sup>3</sup> )	Nat. Water Content (%)	Sat. Water Content (%)	Degree of Saturation (%)	Porositas (n) (%)	Void Ratio (e)
A1	1.18	0.95	1.36	0.95	1.60	24.92	43.04	57.89	40.80	0.69
A3	1.19	0.93	1.35	0.93	1.59	27.36	44.30	61.76	41.34	0.70
A4	1.29	0.92	1.32	0.92	1.54	40.14	44.01	91.20	40.45	0.68
A7	0.95	0.88	1.32	0.88	1.58	7.32	49.68	14.74	43.94	0.78
B8	1.10	0.91	1.32	0.91	1.54	19.71	44.44	44.35	40.66	0.69
B11	1.14	0.96	1.34	0.96	1.56	18.16	39.57	45.89	38.12	0.62
B12	1.20	0.95	1.35	0.95	1.59	26.60	42.63	62.41	40.43	0.68
B13	1.12	0.88	1.32	0.88	1.57	26.41	49.55	53.29	43.83	0.78
Aver.	<b>1.15</b>	<b>0.92</b>	<b>1.34</b>	<b>0.92</b>	<b>1.57</b>	<b>23.83</b>	<b>44.65</b>	<b>53.94</b>	<b>41.20</b>	<b>0.70</b>
St.Dev	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	<b>9.38</b>	<b>3.43</b>	<b>21.48</b>	<b>1.91</b>	<b>0.06</b>



kejenuhan pasir tuff berkisar 14.74% - 91.2%, serta nilai porositasnya antara 38,12%–43.94%. sedangkan angka pori rata-rata 0.7. Gambar 4 merupakan gambar foto jenis material pasir vulkanik tuff yang berada di lokasi sebagai bahan dasar pembuatan *pastefill*.



Gambar 4. Material vulkanik tuff yang digunakan untuk pembuatan *pastefill*

#### 4.2.2. Desain Campuran Sampel Uji

**Pastefill** Sistem pencampuran untuk pembuatan pasta ini dilakukan berdasarkan mix desain *pastefill* yang di produksi oleh *Paste Plant* di lapangan, kemudian dari mix desain dengan perbandingannya masing-masing tersebut dihitung dengan perbandingan terkecil untuk pembuatan sampel uji di Laboratorium Geomekanika Puslitbang Tekmira Bandung. Adapun sistem pencampuran dengan masing-masing persentase semen 6%, 12% dan 14% dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Berbandingan campuran pembuatan *pastefill*

Mix Design Sample	6% Cement Of Dry Tuff	12% Cement Of Dry Tuff	14% Cement Of Dry Tuff	Unit
Cement		1.00	1.00	1.00
Moistured tuf		20.64	9.85	8.58
Add water		11.49	5.40	4.82
Total solid+water		33.14	16.25	14.41

Dengan berbandingan pencampuran *pastefill* pada tabel tersebut, maka campuran dibuat serta diaduk ±5 menit sampai semua komponen material dipastikan tercampur merata dan berbentuk seperti pasta, kemudian campuran pasta ini siap dicetak pada pipa slinder yang telah ditentukan ukurannya untuk pembuatan sampel uji di laboratorium. Campuran berbentuk pasta ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Untuk setiap desain sampel *pastefill*, dilakukan pencampuran (vulkanik tuff+semen+air) dibuat dengan tiga persentase bahan pengikat semen yang berbeda (6% berat, 12% berat dan 14% berat). Campuran yang dihasilkan dituangkan ke dalam pipa silinder PVC yang dibentuk dengan diameter 3.8 cm dan panjang 8 cm untuk rasio L/D = 2 untuk sampel uji UCS dan uji triaksial, sedangkan pipa silinder PVC berdiameter 6 cm dan panjang 2 cm untuk sampel uji geser langsung (lihat bentuk sampel uji pada Gambar 6 berikut).



Gambar 6. Sampel *pastefill* yang siap untuk diuji di laboratorium

#### 4.2.3. Uji Sifat Mekanik *Pastefill*

Dalam penelitian ini waktu curing yang ditetapkan untuk melakukan pengujian dibagi menjadi empat periode yaitu 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Sebanyak 69 sampel *pastefill* dicetak untuk dilakukan



Gambar 5. Campuran vulkanik tuff, semen dan air

uji sifat mekanik yang terdiri dari 24 sampel diuji dengan uji tekan uniaksial, 36 sampel dengan uji tekan triaksial dan 9 sampel dengan uji geser langsung. Tujuan utama uji kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength*) contoh adalah klasifikasi kekuatan dan karakterisasi contoh *pastefill*, hasil uji ini menghasilkan beberapa informasi yaitu kurva tegangan-regangan, kuat tekan uniaksial, modulus Young, nisbah Poisson dan kuat tarik yang diperoleh dari (0.1xUCS). Hasil rekapitulasi uji kuat tekan uniaksial dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk mencapai hasil maksimal ataupun tujuan dari penelitian ini maka dilakukan pengumpulan data dari beberapa pengujian di laboratorium sebagai parameter input analisis kestabilan yang meliputi sifat fisik dan mekanik yang terdiri dari uji kuat tekan uniaksial, triaksial dan uji geser langsung. Pengujian Triaksial contoh *pastefill* dilakukan untuk menentukan kekuatan *pastefill* dibawah tiga komponen tegangan melalui persamaan kriteria keruntuhan.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan *pastefill* di Lab.

Type Specimen	Density, $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	UCS, $\sigma_c$ (MPa)	E (MPa)	Poisson Ratio, $\nu$	$\sigma_t$ (MPa)	K (GPa)	G (GPa)
6% Cement 3D	1.53	0.18	130.14	0.36	0.02	0.05	0.15
6% Cement 7D	1.52	0.38	249.15	0.34	0.04	0.09	0.27
6% Cement 14D	1.53	0.48	325.68	0.35	0.05	0.05	0.14
6% Cement 28D	1.54	0.82	432.22	0.39	0.08	0.10	0.37
12% Cement 3D	1.53	0.39	172.01	0.33	0.04	0.06	0.17
12% Cement 7D	1.54	0.57	259.10	0.39	0.06	0.09	0.38
12% Cement 14D	1.58	0.72	357.75	0.39	0.07	0.06	0.25
12% Cement 28D	1.55	1.00	416.36	0.39	0.10	0.09	0.37
14% Cement 3D	1.56	0.50	307.31	0.31	0.05	0.12	0.27
14% Cement 7D	1.54	0.69	432.28	0.38	0.07	0.16	0.61
14% Cement 14D	1.55	0.85	504.63	0.39	0.08	0.07	0.31
14% Cement 28D	1.56	1.31	544.89	0.38	0.13	0.09	0.35

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan triaksial di Laboratorium

Mix Semen (%)	Umur (Hari)	Tekanan (kPa)						Koehsi, C		Sudut Gesek dalam, $\phi$ (°)
		Contoh 1		Contoh 2		Contoh 3		(kPa)	(MPa)	
		$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\sigma_1$	$\sigma_3$	$\sigma_1$			
Semen 6%	3	50	163.360	100	261.083	200	494.884	11.61	0.012	23.92
	7	50	346.108	100	511.649	200	793.317	69.99	0.070	28.73
	14	50	424.266	100	689.427	200	1088.947	75.75	0.076	35.98
	28	50	856.519	100	969.529	200	1191.003	253.42	0.253	30.19
Semen 12%	3	50	266.236	100	338.367	200	499.578	70.96	0.071	13.91
	7	50	469.987	100	629.835	200	944.031	86.75	0.087	31.54
	14	50	522.217	100	749.052	200	1115.076	107.57	0.108	33.88
	28	50	1237.067	100	1453.211	200	1824.372	324.08	0.324	32.33
Semen 14%	3	50	248.095	100	320.750	200	465.496	73.04	0.073	11.04
	7	50	517.819	100	729.221	200	1088.947	102.26	0.102	33.74
	14	50	542.064	100	711.842	200	1025.444	114.57	0.115	31.04
	28	50	1314.732	100	1605.336	200	2055.936	336.87	0.337	35.24

Pengujian ini menggunakan 3 (tiga) contoh *pastefill* dan kemudian diberi tekanan pemampatan ( $\sigma_3$ ) yang berbeda-beda yaitu contoh pertama, kedua dan ketiga masing-masing diberikan tekanan pemampatan 50 kPa,

100 kPa dan 200 kPa. Kriteria keruntuhan yang digunakan dalam pengolahan data uji triaksial adalah kriteria Mohr-Coulomb dengan persamaan ;  $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ . Hasil pengujian triaksial kemudian diplot kedalam kurva Mohr-Coulomb sehingga dapat ditentukan parameter-parameter kekuatan batuan antara lain kurva intrinsik, kuat geser ( $\tau$ ), koehsi (c), sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dan tegangan normal ( $\sigma_n$ ). Secara grafis melalui kurva, nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ) dapat diketahui elalui nilai tegangan aksial ( $\sigma_1$ ) pada saat

$\sigma_3=0$ , sedangkan nilai tekanan pemampatan yang diperoleh pada saat nilai tegangan aksial dibuat nol ( $\sigma_n=0$ ) adalah merupakan nilai kuat tarik ( $\sigma_3=\sigma_t$ ). Tabel

4 merupakan rekapan data hasil uji triaksial di laboratorium.

Kuat geser *pastefill* merupakan perlawanan secara internal terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam *pastefill* tersebut, yang dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Untuk mengetahui kuat geser

*pastefill* pada tegangan normal tertentu diperlukan uji kuat geser menggunakan contoh sebanyak 4 buah. Masing-masing contoh dikenakan gaya normal ( $F_n$ ) tertentu yang diaplikasikan tegak lurus terhadap permukaan bidang geser atau horisontal ( $F_s$ ) dikenakan untuk menggeser contoh *pastefill* hingga pecah. Hubungan antara gaya perpindahan horizontal terhadap tegangan geser diplot kedalam kurva tegangan-perpindahan geser pada tegangan normal konstan. Kriteria keruntuhan geser yang digunakan adalah kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, hasil uji kuat geser langsung kemudian diplot ke dalam kurva Mohr-Coulomb sehingga diperoleh kurva intrinsik, kuat geser ( $\tau$ ), koehsi (c), sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dan tegangan normal ( $\sigma_n$ ). Pengujian geser langsung hanya dilakukan pada *curing time* 28 hari, hasil ini diperoleh sebagai perbandingan nilai koehsi dan sudut gesek dalam yang diperoleh dari uji triaksial. Hasil uji geser langsung (*direct shear test*) *pastefill* untuk *curing time* 28 hari dapat dilihat Tabel 5.

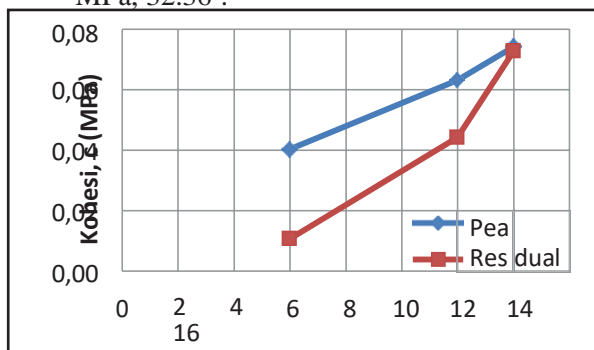
Tabel 5. Hasil uji geser langsung *pastefill*

untuk curing time 28 hari

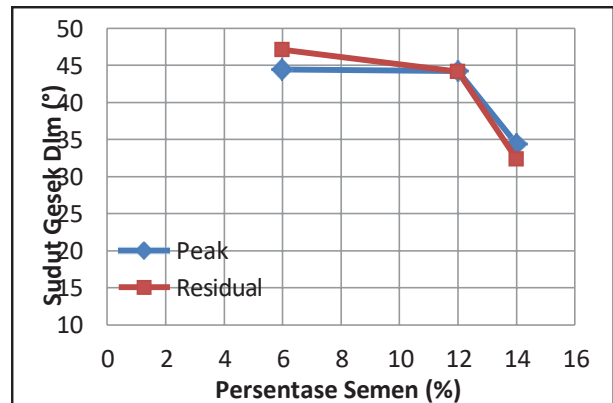
Pastefill Spesimen	Normal Stresses (MPa)	Shear Stress (MPa)		Cohesion, C (MPa)		Internal fric. angle, $\phi$	
		Peak	Residual	Peak	Residual	Peak	Residual
6% Semen 28 Hari	0.05	0.096	0.067	0.040	0.011	44.41	47.08
	0.10	0.128	0.114				
	0.20	0.240	0.227				
12% Semen 28 Hari	0.05	0.106	0.081	0.063	0.044	44.20	44.17
	0.10	0.168	0.159				
	0.20	0.255	0.233				
14% Semen 28 Hari	0.05	0.103	0.102	0.074	0.073	34.35	32.36
	0.10	0.15	0.140				
	0.20	0.208	0.198				

## 5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data uji geser langsung (*direct shear test*) *pastefill* pada Tabel 5 dan digambarkan secara grafik pada Gambar 7 dan 8 yang menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kohesi baik peak maupun residual seiring dengan meningkatnya persentase bahan pengikat semen, begitu pula dengan bertambahnya *curing time* akan meningkat nilai kohesi dan sudut gesek dalam sampai pada kondisi tertentu. Untuk semen 6% waktu curing 28 hari diperoleh nilai masing-masing  $c$  dan  $\phi$  peak 0.04 MPa, 44.42° dan residual 0.01 MPa, 47.08°, untuk semen 12%-28 hari diperoleh nilai masing-masing  $c$  dan  $\phi$  peak 0.063 MPa, 44.20° dan residual 0.044 MPa, 44.17° dan untuk semen 14%-28 hari diperoleh nilai masing-masing  $c$  dan  $\phi$  peak 0.074, 34.35° dan residual 0.073 MPa, 32.36°.



Gambar 7. Grafik kohesi vs persen semen



Gambar 8. Grafik sudut gesek dalam vs persen semen

Ilmu Geoteknik pada kasus *pastefill* menganjurkan untuk menggunakan  $FK > 1.5$ . Namun, kontrol stabilitas penggunaan *pastefill* ini telah dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya dan hasilnya merekomendasikan menggunakan faktor keamanan (FK) cukup tinggi yaitu antara 2.5 – 5 (Askew dkk. 1978; Mitchell dkk. 1982;

Smith, 1983; Arioglu, 1984; Yu 1992; Hassani & Bois, 1992). Model analisis stabilitas yang umum digunakan untuk mengetahui FK dengan asumsi nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) adalah mungkin untuk memperkirakan nilai kohesi ( $c$ ) dan UCS *pastefill* berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Ketika *backfill* ini dirancang untuk menyangga atap atau dinding sebuah lubang bukaan bawah tanah, kita akan fokus pada karakteristik mekanis internalnya. Jika

terhadap metode penambangan dengan bantuan dinding

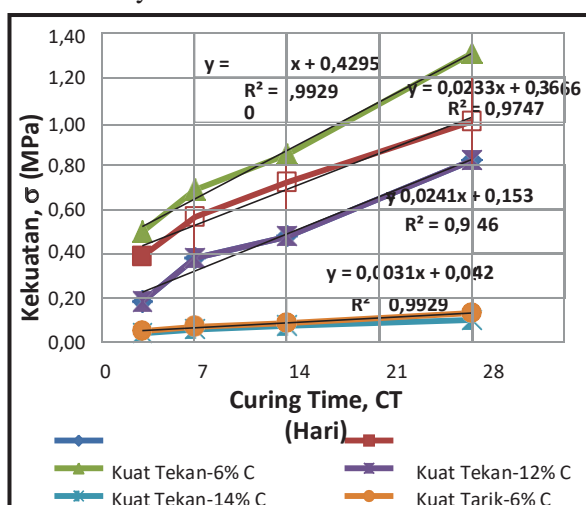
penyangga *pastefill* yang ada ditempat, maka harus dilihat pertama kekuatannya. Selama fase desain sistem pengisian kembali dengan *pastefill*, maka kuat tekan ( $\sigma_c$ ) yang didesain sebagai parameter utama untuk mengetahui bahwa hal tersebut dapat dihubungkan dengan parameter mekanis lainnya seperti modulus Young ( $E$ ), kuat tarik ( $\sigma_t$ ), kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ). Untuk berperan mempertahankan dirinya sendiri, nilai UCS harus setidaknya 5 MPa, sedangkan dalam kasus ekstraksi pilar, UCS harus antara 1-2 MPa (Cai, 1983; Stone, 1993; Donovan, 1999; Li dkk, 2003).

Untuk semen 6% *Curing Time* (CT) 7 hari mencapai kekuatan 0.38 MPa, untuk semen 12% CT 7 hari mencapai kekuatan 0.57 MPa, dan



untuk semen 14% CT 7 hari mencapai kekuatan 0.69 MPa. Sedangkan untuk semen 6% CT 28 hari mencapai kekuatan 0.82 MPa, untuk semen 12% CT 28 hari mencapai kekuatan MPa 1.00, dan untuk semen 14% CT 28 hari mencapai kekuatan 1.31 MPa. karena nilai kuat tarik *pastefill* ini diperoleh dari (0.1xUCS) maka nilainya meningkat ataupun menurun sangat bergantung terhadap nilai UCS. Sedangkan untuk nilai Modulus Young (E) sangat bervariasi berkisar antara 125.68–432.28 MPa, begitu juga untuk nilai Poisson Rasio ( $\nu$ ) yang berkisar antara 0.3–0.4. Pada penelitian-penelitian sebelumnya diperoleh nilai Poisson Rasio ( $0.3 \leq \nu \leq 0.4$ ), Modulus Young = 250 - 350 MPa. (Belem, T dan Benzaazoua, M., 2004). Berdasarkan data pengujian kuat tekan (*uniaxial compressive strength*) *pastefill* menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai UCS dengan bertambahnya waktu pengeringan (*curing time*) seperti terdapat pada grafik Gambar 9.

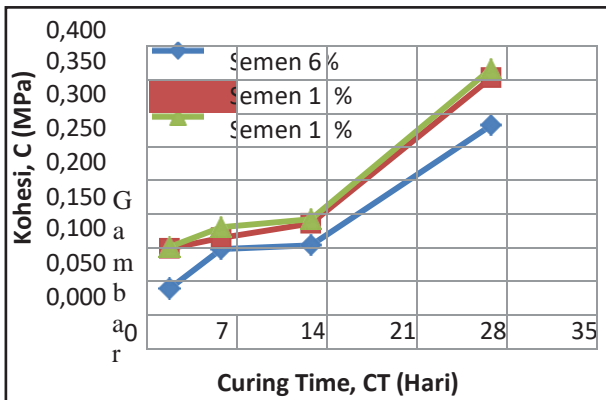
Dalam penelitian ini, untuk kasus *underground gold mine* Kencana-Halmahera metode *cut and fill*, penggunaan *pastefill* dirancang dengan kekuatan (UCS) berkisar 0.5–2 MPa. Desain *pastefill* dengan nilai UCS tersebut dilakukan dengan campuran persentase semen yang berbeda-beda dengan capaian kekuatan *pastefill* yang berbeda pada umur yang sama, desain kekuatan *pastefill* di lokasi penelitian sangat bergantung pada rencana penambangan jangka pendek berikutnya



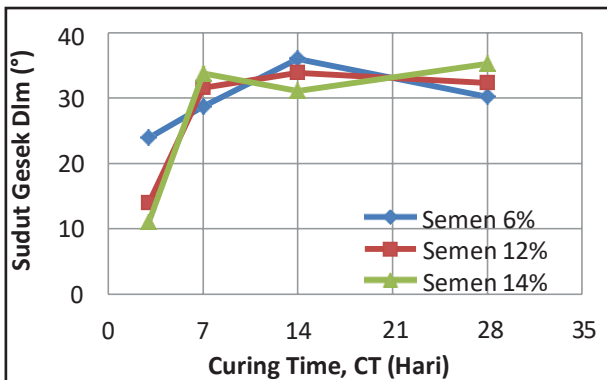
Gambar 9. Grafik hubungan kuat tekan dan kuat tarik terhadap *curing time*

Dimana persyaratan yang ditetapkan untuk dapat melakukan penambangan bijih disamping dinding pasta harus kekuatan minimalnya 0.5 MPa, sedangkan penambangan yang dilakukan dibawah pasta (*mining under paste*) harus kekuatan minimalnya 1.2 MPa. Sehingga penambangan yang dilakukan pada dinding atau atap dari pasta ini sangat bergantung pada rencana penambangan jangka pendek yang nantinya akan disesuaikan dengan desain kekuatan (UCS) dari *pastefill*. Jika siklus penambangannya membutuhkan waktu yang sangat cepat maka campuran persentase semen pada saat desain *pastefill* akan dinaikkan, dan jika siklus penambangannya membutuhkan waktu yang agak lama, maka campuran persentase semen pada *pastefill* akan dikurangi dengan menunggu umur pasta mencapai kekuatan yang dipersyaratkan untuk melakukan penambangan berikutnya. Pada penelitian ini, hanya karakteristik mekanik *pastefill* dengan persentase semen 6%, 12% dan 14% yang diamati kekuatannya sampai pada umur standar 28 hari.

Berdasarkan data pengujian kuat tekan triaksial (*triaxial test*) *pastefill* pada Tabel 4 dan digambarkan secara grafik pada Gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai kohesi dengan bertambahnya waktu pengeringan (*curing time*). Untuk semen 6% CT 7 dan 28 hari diperoleh nilai kohesi masing-masing 0.07 MPa dan 0.253 MPa, untuk semen 12% CT 28 hari diperoleh nilai kohesi masing-masing 0.087 MPa dan 0.324 MPa dan untuk semen 14% CT 7 dan 28 hari diperoleh nilai kohesi masing-masing 0.102 MPa dan 0.337 MPa. Sedangkan nilai sudut gesek dalam *pastefill* sangat bervariasi yaitu untuk semen 6% CT 7 dan 28 hari diperoleh nilai sudut gesek dalam masing-masing  $28.73^{\circ}$ – $30.19^{\circ}$ , semen 12% CT 7 dan 28 hari diperoleh nilai sudut gesek dalam masing-masing  $31.54^{\circ}$ – $32.33^{\circ}$  dan semen 14% CT 7 dan 28 hari diperoleh nilai sudut gesek dalam masing-masing  $33.74^{\circ}$ – $35.24^{\circ}$ . Pada penelitian-penelitian sebelumnya diperoleh nilai kohesi *pastefill* 0.5–1 MPa, dan Sudut gesek dalam =  $30 - 35^{\circ}$ . (Belem, T dan Benzaazoua, M., 2004). Meningkatnya nilai kohesi ini sejalan dengan bertambahnya *curing time* sampai mencapai nilai maksimum, biasanya berpatokan pada umur pasta 28 hari.



10. Grafik hubungan kohesi vs curing time



Gambar 11. Grafik sudut gesek dalam vs curing time.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ;

1. Hasil uji sifat fisik vulkanik tuff terlihat adanya peningkatan bobot isi dari kondisi kering ke kondisi jenuh rata-rata 0,17 gr/cm<sup>3</sup>. Kadar air pun mengalami peningkatan dari kondisi natural ke kondisi jenuh rata-rata 20.82%, hal ini dikarenakan jumlah air yang masuk ke dalam pori-pori meningkat. Banyaknya kadar air asli rata-rata sebesar 23,83% dan kadar air jenuh rata-rata 44.65%, derajat kejenuhan berkisar 14.74–91.2% serta nilai porositasnya 38.12–43.94% dan angka pori rata-rata 0.7.
2. Penggunaan *pastefill* yang diterapkan untuk mengisi ruang-ruang kosong (*stope*) pada

tambang emas bawah tanah Kencana harus

3. dirancang nilai  $\sigma_c$  berkisar 0.5–2 MPa,  $\sigma_f$  berkisar 0.05–0.2 MPa, kohesi ( $c$ ) berkisar 0.07–0.3 MPa dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) berkisar 30<sup>o</sup>–45<sup>o</sup>, sebagai persyaratan sifat mekanik untuk melakukan penambangan bijih disamping dinding pasta harus memenuhi UCS minimal 0.5 MPa, sedangkan penambangan dibawah pasta UCS minimal 1.2 MPa.
4. Blok *pastefill* di dalam *stope* yang diinterpretasi dari hasil uji Laboratorium diperoleh kondisi stabil untuk dilakukan penambangan dengan *pastefill* sebagai penambangan dengan *pastefill* sebagai dinding terowongan yaitu kandungan semen 6% pada umur 14 hari, kandungan semen 12% pada umur 7 hari, dan kandungan semen 14% pada umur 3 hari. Sedangkan penambangan dilakukan dibawah *pastefill* atau sebagai atap terowongan menunjukkan kondisi tidak stabil kecuali persentase kandungan semen 14% pada umur 28 hari akan stabil, artinya penambangan dapat dilakukan pada umur *pastefill* antara 21-28 hari dengan diberi perkuatan.
5. Desain sifat mekanik *pastefill* disesuaikan dengan rencana penambangan, jika siklus penambangan membutuhkan waktu yang sangat cepat maka persentase semen akan dinaikkan, dan jika siklus penambangannya membutuhkan waktu yang lama, maka persentase semen akan dikurangi dengan menunggu umur *pastefill* mencapai kekuatan dan faktor keamanan yang dipersyaratkan untuk melakukan penambangan berikutnya, baik disamping maupun dibawahnya.

## 7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak manajemen dan staff departemen Geotechnik Underground Kencana PT. Nusa Halmahera Minerals–Gosowong Pulau Halmahera, yang mengizinkan untuk melakukan penelitian ini, dan pihak manajemen dan staff Laboratorium Geomekanika Puslitbang tekMIRA Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia yang mengizinkan kami untuk melakukan uji sampel *pastefill*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aubertin, M., Li, L., Arnoldi, S., Belem, T., Bussière, B., Benzaazoua, M. & Simon, R. 2003. "Interaction between backfill and rock mass in narrow stopes". *Soil and Rock America 2003*, Cambridge, Mass (in press). Rotterdam, Balkema.
- Belem, T., & Benzaazoua, M., 2004, " An overview on the use of paste backfill technology as a ground support method in cut and fill mines" *Ground Support In Mining And Underground Construction– Villaescusa & Potvin*, Taylor & Francis Group, London, ISBN 90 5809 640 8.
- Belem, T., Benzaazoua, M., Bussière, B. 2000. "Mechanical behavior of cemented paste backfill". *Proceedings of the 55th Canadian Geotechnical Conference*. Canadian Geotechnical Society, Vol. 1, ISBN 0-920505-15-5 pp.373-380. Montreal, 2000
- Brady T., Ted J. Williams T.J., Bayer DC., Bren MJ., Pakalnis R., Marjerison JA., Stillwater and Langston RB., 2006 "Underhand Cut and Fill Mining as Practiced in Three Deep Hard Rock Mines in the United States", USA.
- Caceres C., 2005. "Effect of Backfill on Open Stope Mining Methods", MASC Thesis, Mining Engineering, University of British Columbia, 139pp.
- Farida Marzuki P., dan Jogaswara E., 2006 "Potensi Semen Alternatif Dengan Bahan Dasar Kapur Padalarang Dan Fly Ash Suralaya Untuk Konstruksi Rumah Sederhana" Makalah Seminar Nasional "Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa dan Konstruksi Beton" ITB. Bandung.
- Grice T., 1998 "Underground Mining with Backfill" The 2nd Annual Summit – Mine Tailings Disposal Systems, 24-25 November 1998, Brisbane, Australia.
- Made Astawa Rai, Suseno Kramadibrata, Ridho Kresna Wattimena, 2008, "Diktat Kuliah Mekanika Batuan Program Studi Teknik Pertambangan ITB". Bandung
- Pakalnis R., Caceres C., Clapp K., Morin M., Brady T., Williams T., Blake W., MacLaughlin M., 2005 "Design Spans – Underhand Cut and Fill Mining" Presented at 107<sup>th</sup> CIM-AGM Toronto, April 2005.
- Pirapakaran K., 2008 "Load-deformation characteristics of minefills with particular reference to arching and stress developments" PhD Thesis, James Cook University. February 2008.
- Sainsbury, D. P., and Urie, R., 2007 "Stability Analysis of Horizontal and Vertical Paste Fill Exposures at the Raleigh Mine" This paper was prepared for presentation at MINEFILL2007, held in Montreal, Quebec, April 29 – May 3, 2007.

