

Studi Pemodelan Numerik Uji Kuat Tarik Tak Langsung dengan Metode Elemen Hingga

(Studi Kasus terhadap Batupasir dan Batulempung di Area Tambang Sarang Semut, PT. Sumber Kurnia Buana, Desa Pualam, Kecamatan Binuang, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan)

Numerical Modeling Study of Strength Test Using Indirect Pull Up Element
(Case Study Against Sandstone and Mudstone in Mine Area Ants Nest
PT. Sumber Kurnia Buana, Pualam Village, District Binuang,
Tapin District, South Kalimantan)

¹David Chandra Kusuma, ²Maryanto, ³A. Machali Muchsin

^{1,2,3}*Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
email: discriftdavid@gmail.com*

Abstract. Event secure underground mining can be achieved, when the stability of the tunnel can be properly maintained. In the calculation of the stability of the tunnel, one thing to note is the tensile strength of rocks, because of possible rock masses in the roof of the tunnel experience tensile stresses. In this study, conducted indirect tensile strength test in the laboratory and numerical modeling with test samples derived from ants nest in the mining area of PT Sumber Kurnia Buana located in the village of Marble, District Binuang, Tapin District, South Kalimantan. Samples tested were sandstones and mudstone. The results of indirect tensile strength test in the lab shows the average value of the tensile strength of 4,586 MPa and sandstone to mudstone of 3,385 MPa. While the results of numerical modeling using the program *Phase2*, of the value the average tensile strength of 4,744 MPa to 3,547 MPa for the sandstone and mudstone. Based on statistical tests equality of two average for sandstones and claystone, found that the indirect tensile strength values numerically by indirect tensile strength values are static there are similarities. This means that the indirect tensile strength can be used to replace the numerical value of the indirect tensile strength static, if no test samples from the field.

Keywords: Indirect Tensile Strength, Numerical Modeling, Testing the Equality of Two Average

Abstrak. Kegiatan penambangan bawah tanah yang aman dapat dicapai, ketika kestabilan terowongan dapat terjaga dengan baik. Dalam perhitungan kestabilan terowongan, salah satu hal yang perlu diketahui adalah kuat tarik batuan, karena terdapat kemungkinan massa batuan pada atap terowongan mengalami tegangan tarik. Pada penelitian ini, dilakukan uji kuat tarik tak langsung di laboratorium dan pemodelan numerik dengan contoh uji yang berasal dari area tambang sarang semut di PT Sumber Kurnia Buana yang berlokasi di Desa Pualam, Kecamatan Binuang, Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan. Contoh yang diuji adalah batupasir dan batulempung. Hasil uji kuat tarik tak langsung di laboratorium menunjukkan nilai rata-rata kuat tarik batupasir sebesar 4.586 MPa dan untuk batulempung sebesar 3.385 MPa. Sedangkan hasil pemodelan numerik dengan menggunakan program *phase2*, diperoleh nilai rata-rata kuat tarik sebesar 4.744 MPa untuk batupasir dan 3.547 MPa untuk batulempung. Berdasarkan pengujian statistik kesamaan dua rata-rata untuk batupasir dan batulempung, diperoleh bahwa nilai kuat tarik tak langsung secara numerik dengan nilai kuat tarik tak langsung secara statis terdapat kesamaan. Artinya kuat tarik tak langsung numerik dapat digunakan untuk menggantikan nilai kuat tarik tak langsung statis, apabila tidak ada sampel uji dari lapangan.

Kata Kunci: Kuat Tarik Tak Langsung, Pemodelan Numerik, Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan serta teknologi dalam dunia pertambangan, kegiatan penambangan tidak hanya lagi dilakukan di tambang terbuka melainkan banyak dilakukan dengan sistem tambang bawah tanah. Lubang bukaan harus dirancang dengan baik menggunakan data sifat fisik dan sifat mekanik dari massa batuan yang akan digali. Sifat fisik yang perlu diketahui antara lain densitas, berta jenis, kadar

air, porositas dan angka pori. Sementara, sifat mekaniknya yaitu kuat tekan (*compressive strength*), kuat tarik (*tensile strength*), modulus elastisitas dan *poisson's ratio*.

Nilai kuat tarik (*tensile strength*) batuan sangat perlu diketahui, khususnya dalam perhitungan kestabilan lubang bukaan terhadap kemungkinan massa batuan pada atap yang akan mengalami tegangan tarik. Nilai kuat tarik batuan umumnya diperoleh melalui uji kuat tarik tak langsung atau uji *Brazilian*. Pengujian ini akan memberikan nilai seberapa besar beban yang diberikan kepada batuan sehingga akan mengalami deformasi.

Dari hasil pemodelan ini, akan diperoleh nilai kuat tarik yang mana nilainya akan dibandingkan dengan nilai kuat tarik secara laboratorium. Dari dua nilai tersebut, akan dilakukan uji statistik kesamaan dua rata-rata untuk mengetahui kesamaan dari hasil nilai kuat tarik statis (laboratorium) dengan nilai kuat tarik numerik (pemodelan). Sehingga jika ada kesamaan akan mempermudah untuk mengetahui nilai kuat tarik batuan di daerah tersebut.

Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan nilai kuat tarik tak langsung secara statis yang dilakukan di laboratorium.
2. mendapatkan nilai kuat tarik tak langsung dari pemodelan numerik menggunakan Finite Element Method dengan program Phase2 6.0
3. membandingkan kesamaan nilai kuat tarik tak langsung batuan yang didapatkan dari model numerik dengan nilai hasil pengujian di laboratorium.

Uji Sifat Fisik Batuan

Pada dasarnya, batuan tidak hanya terdiri dari partikel padat saja melainkan terdiri dari air dan udara. Partikel padat yang ada pada batuan merupakan mineral-mineral yang berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Sedangkan air dan udara mengisi pori yang ada pada batuan tersebut. Perbedaan komposisi padatan, air dan udara menyebabkan batuan memiliki karakteristik yang berbeda. Sifat fisik merupakan karakteristik dasar batuan yang mempengaruhi perilaku batuan. Sifat fisik batuan didapatkan melalui uji sifat fisik yang dilakukan di laboratorium. Beberapa sifat fisik dari contoh uji yang diperoleh dalam penelitian ini adalah densitas (*density*), berat jenis (*specific gravity*), kadar air (*water content*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), porositas (*porosity*) dan angka pori (*void ratio*).

Uji Sifat Mekanik

Selain sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan merupakan hal yang esensial untuk diketahui dalam melakukan analisis yang berkaitan dengan kekuatan batuan. Sifat mekanik batuan yang akan dilakukan yaitu dengan uji kuat tekan uniaksial, uji triaksial dan uji kuat tarik tak langsung.

1. Uji Kuat Tekan Uniaksial

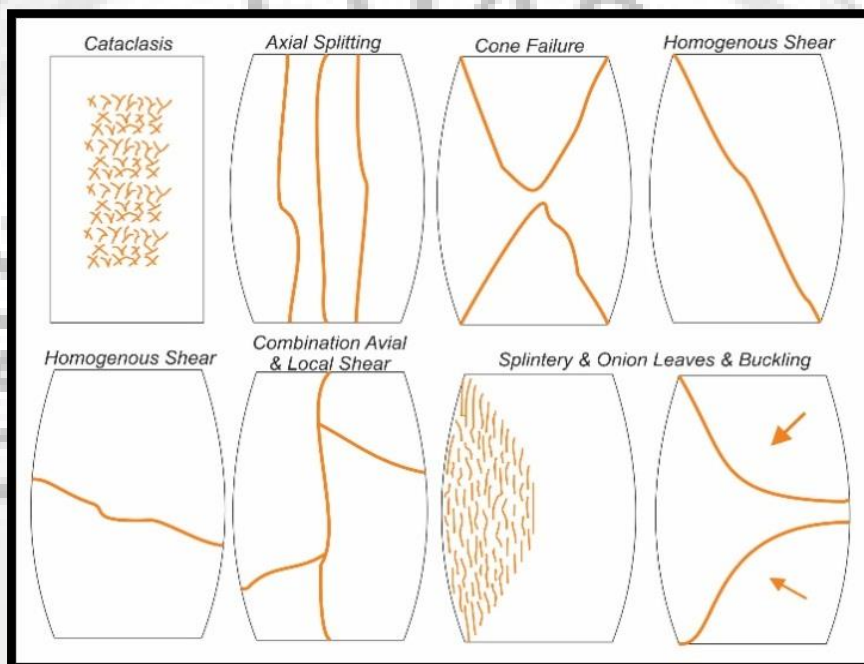
Pengujian ini menggunakan mesin tekan (*compression machine*) untuk menekan satu sampel batuan yang berbentuk silinder, balok atau prisma dari satu arah (*uniaxial*). Nilai kuat tekan batuan diperlukan untuk mengetahui kekuatan maksimum dari batu tersebut untuk menahan tekanan atau beban hingga mengalami keruntuhan dan dinyatakan dalam satuan Mpa. Nilai kuat tekan batu bisa digunakan untuk memperkirakan kekuatan besarnya beban yang akan ditempatkan di atas sebuah fondasi batu tanpa mengakibatkan fondasi tersebut longsor atau rusak. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui atau merencanakan dimensi suatu pondasi yang

aman dan kuat terhadap beban yang dipikulnya, sehingga dalam suatu perencanaan bisa digunakan sebagai batasan tegangan maksimum yang diijinkan.

Dari pengujian ini akan diperoleh nilai kuat tekan batuan (σ_c), modulus elastisitas (E), *poisson's ratio* (ν) dan kuat tarik (σ_t).

Menurut *ISRM* (1981), contoh batuan uji berbentuk silinder dengan L/D dari 2.5 hingga 3.0 dan sebaiknya diameter (D) contoh batu uji paling tidak berukuran sekitar 54 mm. contoh batuan yang memiliki $(L/D) > 2.5$ akan mempunyai nilai kuat tekan uniaksial lebih kecil dan lebih cepat mengalami keruntuhan dibandingkan dengan contoh batuan yang memiliki $(L/D) < 2$.

Berdasarkan uji tekan yang pernah dilakukan, *Kramadibrata* (1990) menyimpulkan bentuk pecahan contoh uji akan bervariasi mulai dari *cataclasis*, *axial splitting*, *cone failure*, *homogenous shear*, *combination axial & local shear*, dan *splintery & onion leaves & buckling*.



Sumber: *Kramadibrata*, 1990

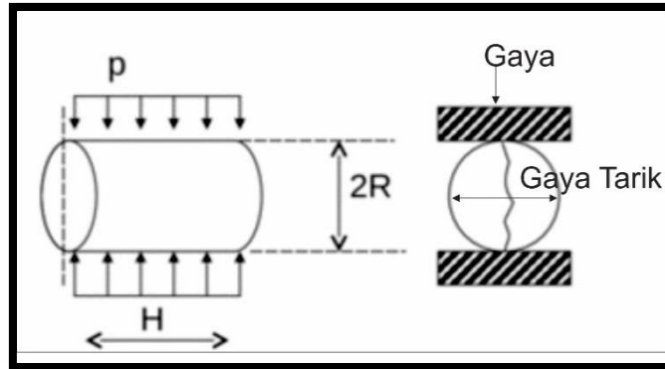
Gambar 1. Tipe Pecah Contoh Batuan Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

2. Uji Kuat Tarik Tak Langsung Metode *Brazilian*

Uji *Brazilian* merupakan salah satu metode untuk mengetahui nilai kuat tarik batuan. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik secara tidak langsung dari contoh uji batuan. Metode ini menggunakan contoh uji dengan bentuk lempeng silinder yang diberikan tekanan pada sisi luarnya agar contoh uji mengalami *failure* digaris diameternya.

Hondros (1959) melakukan uji pada contoh uji berbentuk lempeng silinder yang homogeny, isotrop dan elastic linier. Pemberian tekanan secara merata pada kedua sisinya akan memenuhi syarat jika pecah contoh ujinya tepat melalui garis diameternya. Agar uji *Brazilian* ini sempurna, harus diamati bahwa rekahan yang terbentuk harus melewati titik pusat dan vertical dari atas kebawah.

Selain itu, menurut *Barenbaum* dan *Brodie* (1959), geometri dari contoh uji *Brazilian* akan berpengaruh terhadap kuat tarik contoh tersebut. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa jika perbandingan tebal dan diameter contoh meningkat, maka kuat tarik contoh akan menurun.



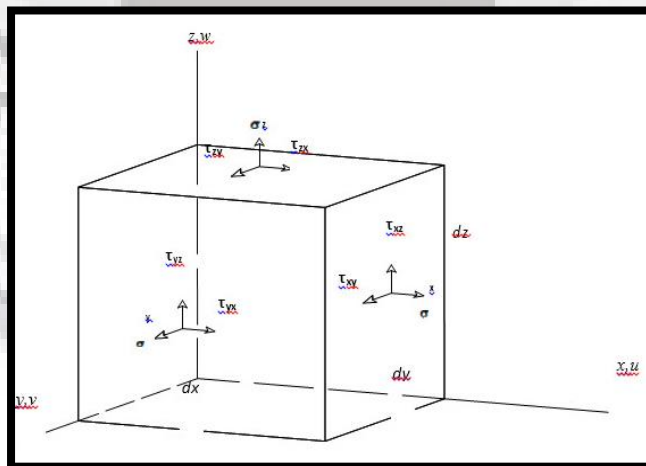
Sumber: Barenbaum dan Brodie, 1959

Gambar 2. Penguujian *Brazilian*

Metode Elemen Hingga

Metode numerik merupakan teknik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan matematik sehingga dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan biasa. Didalam metode numerik, permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis merupakan suatu pendekatan. Akurasi perhitungan dari permasalahan yang didekati secara matematis sangat tergantung pada asumsi yang diberikan. Semakin akurat data yang dipergunakan untuk perhitungan operasi matematik dan semakin sedikit asumsi yang diberikan maka pendekatan akan memberikan hasil yang lebih baik. Ukuran akurasi dari pendekatan ini dikenal dengan nama *error* atau kesalahan.

Penyelesaial metode ini akan menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisa dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan yang mana hasilnya berupa pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu. Untuk masalah struktur, penyelesaian yang didapatkan adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*).



Sumber: Handayani, *Metode Elemen Hingga Pada Struktur*, ITS, 2008

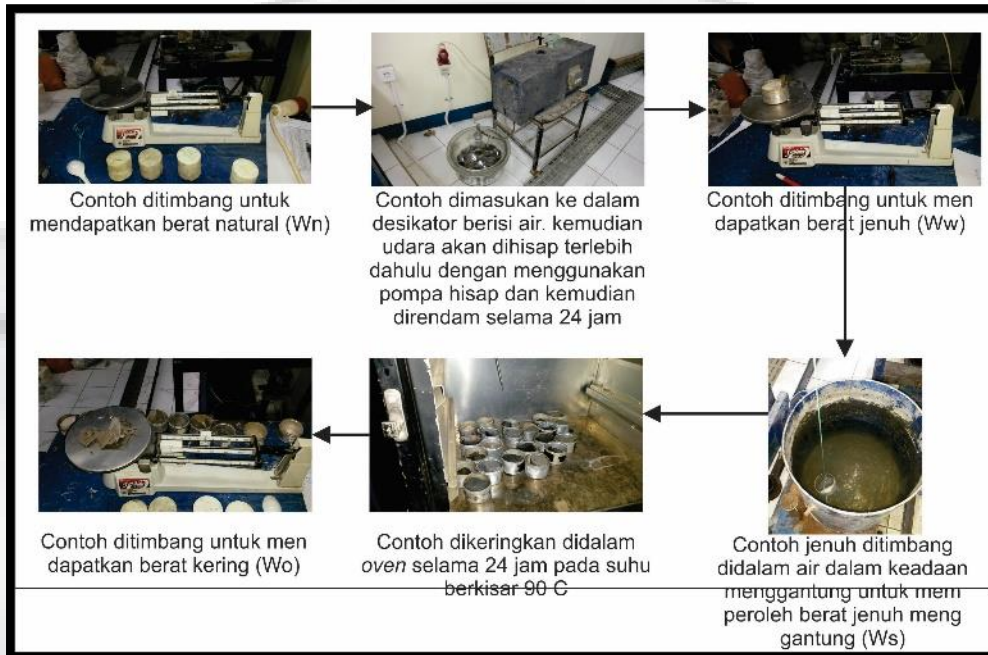
Gambar 3. Tegangan pada Sebuah Elemen yang Sangat Kecil

Gambar 3 memperlihatkan sebuah elemen yang amat kecil dalam sumbu koordinat *Cartesius* yang panjang sisi-sisinya dinyatakan dengan d_x , d_y , dan d_z . Tegangan normal dan tegangan geser digambarkan dengan anak panah pada permukaan elemen tadi. Tegangan normal diberi notasi σ_x , σ_y , dan σ_z , sedangkan tegangan geser diberi notasi τ_{xy} , τ_{yz} , dan seterusnya.

B. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Uji Sifat Fisik Batuan

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai yang akan dipergunakan untuk data masukan pada program *phase2* yaitu bobot isi (*unit weight*) yang diperoleh dari nilai densitas asli (*density natural*). Terlihat nilai terkecil untuk batupasir sebesar 2,18 gr/cm³, tertinggi sebesar 2,44 gr/cm³ serta rata-ratanya 2,24 gr/cm³. Sedangkan untuk batulempung diperoleh nilai terkecilnya 1,74 gr/cm³, tertinggi 2,09 gr/cm³ serta rata-ratanya sebesar 1,94 gr/cm³.



Gambar 4. Prosedur Pengujian Sifat Fisik Batuan

Uji Kuat Tekan Uniaksial

Hasil pengujian kuat tekan uniaksial, diperoleh nilai kuat tekan terkecil untuk conto uji batupasir sebesar 16,673 MPa dan yang tertinggi 21,183 MPa dengan rata-rata kuat tekan 18,633 MPa (Tabel 1). Sedangkan untuk conto uji batulempung diperoleh nilai terkecil 7,800 MPa dan yang tertinggi 16,048 MPa dengan rata-rata kuat tekan sebesar 11,370 MPa (Tabel 2). Selain memperoleh nilai kuat tekan, uji ini akan memberikan nilai modulus elastisitas dan juga *poisson's ratio*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Uji Kuat Tekan Uniaksial Batupasir

Kode Sampel	Litologi	Kuat Tekan (MPa)	Poisson's ratio	Modulus Elastisitas (MPa)
UCS-01	Batupasir	16,673	0,294	2.461,54
UCS-02	Batupasir	19,378	0,306	3.142,86
UCS-06	Batupasir	17,297	0,308	3.846,15
UCS-07	Batupasir	21,183	0,319	3.387,10
Rata-rata		18,633	0,307	3.209,41
Simpangan Baku		2,056	0,010	577,659

Tabel 2. Hasil Perhitungan Uji Kuat Tekan Uniaksial Batulempung

Kode Sampel	Litologi	Kuat Tekan (MPa)	Poisson's ratio	Modulus Elastisitas (MPa)
UCS-03	Batulempung	9,902	0,357	2.000,00
UCS-04	Batulempung	10,381	0,356	2.187,50
UCS-05	Batulempung	7,800	0,385	1.187,50
UCS-08	Batulempung	16,048	0,306	2.142,86
UCS-09	Batulempung	12,718	0,367	1.916,67
Rata-rata		11,370	0,354	1.886,91
Simpangan Baku		3,146	0,029	405,810

Uji Kuat Tarik Tak Langsung

Hasil pengujian kuat tarik tak langsung, diperoleh nilai kuat tarik terkecil untuk conto uji batupasir sebesar 3,249 MPa dan yang tertinggi 5,613 MPa dengan rata-rata kuat tekan sebesar 4,586 MPa (Tabel 3). Sedangkan untuk conto uji batulempung diperoleh nilai terkecil 2,191 MPa dan yang tertinggi 4,366 MPa dengan rata-rata kuat tekan sebesar 3,385 MPa (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai Kuat Tarik Tak Langsung Batupasir

No	Kode Contoh Uji	Litologi	Diameter Conto (cm)	Tebal Conto (cm)	L/D	Beban (KN)	Kuat Tarik	
							(KN/cm ²)	(MPa)
1	KTTL-01	Batupasir	6,11	2,85	0,47	10,791	0,395	3,947
2	KTTL-02	Batupasir	6,06	3,05	0,50	10,301	0,355	3,550
3	KTTL-03	Batupasir	6,05	3,01	0,50	14,715	0,515	5,147
4	KTTL-05	Batupasir	6,06	3,11	0,51	15,696	0,530	5,305
5	KTTL-06	Batupasir	6,05	2,76	0,46	14,715	0,561	5,613
6	KTTL-08	Batupasir	6,05	3,1	0,51	16,187	0,550	5,497
7	KTTL-21	Batupasir	6,02	2,8	0,47	13,244	0,500	5,004
8	KTTL-24	Batupasir	6,04	3,08	0,51	11,576	0,396	3,963
9	KTTL-27	Batupasir	6,03	3,03	0,50	9,320	0,325	3,249
Rata-rata			6,052	2,977	0,492	12,949	0,459	4,586
Simpangan Baku			0,025	0,136	0,023	2,527	0,090	0,905

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Batulempung

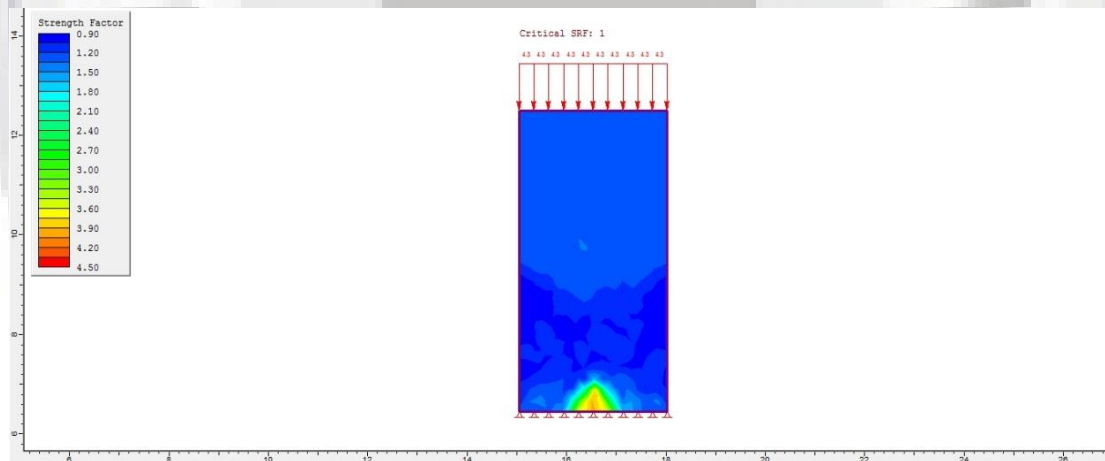
Pemodelan Numerik Dengan Program Phase2

No	Kode Contoh Uji	Litologi	Diameter Conto (cm)	Tebal Conto (cm)	L/D	Beban (KN)	Kuat Tarik	
							(KN/cm ²)	(MPa)
1	KTTL-04	Batulempung	6,05	3,04	0,50	10,791	0,374	3,737
2	KTTL-07	Batulempung	6,06	3,07	0,51	12,753	0,437	4,366
3	KTTL-09	Batulempung	6,09	3,06	0,50	8,829	0,302	3,018
4	KTTL-10	Batulempung	6,01	3,14	0,52	12,263	0,414	4,139
5	KTTL-11	Batulempung	6,06	3,07	0,51	11,772	0,403	4,030
6	KTTL-12	Batulempung	5,88	3,03	0,52	9,810	0,351	3,507
7	KTTL-13	Batulempung	5,88	2,95	0,50	9,320	0,342	3,422
8	KTTL-14	Batulempung	6,05	3	0,50	10,301	0,361	3,615
9	KTTL-15	Batulempung	6,1	3,1	0,51	8,829	0,297	2,974
10	KTTL-16	Batulempung	6,1	2,86	0,47	5,886	0,215	2,149
11	KTTL-17	Batulempung	6,07	3,2	0,53	12,753	0,418	4,182
12	KTTL-18	Batulempung	6,04	2,98	0,49	6,867	0,243	2,430
13	KTTL-19	Batulempung	6,07	2,79	0,46	10,301	0,387	3,874
14	KTTL-20	Batulempung	6	3,06	0,51	7,848	0,272	2,723
15	KTTL-22	Batulempung	6,02	3,09	0,51	9,320	0,319	3,191
16	KTTL-23	Batulempung	6,06	3,2	0,53	9,810	0,322	3,222
17	KTTL-25	Batulempung	6,05	3,19	0,53	9,810	0,324	3,238
18	KTTL-26	Batulempung	6,01	3,25	0,54	12,066	0,393	3,935
19	KTTL-28	Batulempung	5,92	2,68	0,45	6,377	0,256	2,560
Rata-rata			6,027	3,040	0,504	9,774	0,338	3,385
Simpangan Baku			0,066	0,144	0,023	2,052	0,064	0,635

Pemodelan numerik dengan menggunakan program *Phase2* ini digunakan untuk mengetahui nilai kuat tarik tak langsung secara numerik. Untuk pemodelan numerik, data masukan yang digunakan meliputi *unit weight* (γ_n), modulus elastisitas (E), *poisson's ratio* (ν), kuat tarik (σ_c), kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ) yang telah didapatkan dari pengujian sebelumnya. Kemudian diberi pembebanan pada model tersebut secara bertahap mulai 0,5 MPa hingga model mengalami keruntuhan yang ditunjukkan dengan nilai *SRF* mendekati 1. Hasil proses selengkapnya untuk batupasir seperti terlihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Pemodelan Numerik Batupasir

No	Kode Sampel	Bobot Isi (MN/m ³)	Modulus Elastisitas (MPa)	Poisson's Ratio	Kohesi (MPa)	Sudut Geser Dalam (°)	Kuat Tarik	
							Numerik (MPa)	Statis (MPa)
1	KTTL-01	0,0218	3209,41	0,307	2,21	34,6	4,3	3,947
2	KTTL-02	0,0216			1,87	36,91	3,7	3,55
3	KTTL-03	0,021			2,8	34,26	5,3	5,147
4	KTTL-05	0,022			2,91	33,47	5,5	5,305
5	KTTL-06	0,0224			3,16	30,99	5,7	5,613
6	KTTL-08	0,024			2,92	32,61	5,6	5,497
7	KTTL-21	0,0214			2,24	34,68	5,1	5,004
8	KTTL-24	0,0214			2,1	39,11	4,2	3,963
9	KTTL-27	0,0218			1,63	43,52	3,3	3,249



Gambar 5. Contoh Hasil Numerik KTTL-01

Uji Statistik Kesamaan Dua Rata-rata Nilai Kuat Tarik Numerik Dengan Nilai Kuat Tarik Statis.

Tahap-tahap pengujian statistik untuk batupasir adalah sebagai berikut:

- Perumusan Hipotesis
 - ✓ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (Terdapat kesamaan antara kuat tarik numerik (pemodelan) dengan kuat tarik statis (pengujian)).
 - ✓ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (Tidak terdapat kesamaan antara kuat tarik numerik (pemodelan) dengan kuat tarik statis (pengujian)).
- Statistik Uji

Tabel 6. Data Kontigensi Batupasir

No	Kuat Tarik Numerik	Kuat Tarik Statis	$(X_{1i}-X_1)$	$(X_{1i}-X_1)^2$	$(X_{2i}-X_2)$	$(X_{2i}-X_2)^2$
	(X_1)	(X_2)				
1	4,3	3,947	-0,444	0,198	-0,639	0,408
2	3,7	3,55	-1,044	1,091	-1,036	1,074
3	5,3	5,147	0,556	0,309	0,561	0,315
4	5,5	5,305	0,756	0,571	0,719	0,517
5	5,7	5,613	0,956	0,913	1,027	1,055
6	5,6	5,497	0,856	0,732	0,911	0,830
7	5,1	5,004	0,356	0,126	0,418	0,175
8	4,2	3,963	-0,544	0,296	-0,623	0,388
9	3,3	3,249	-1,444	2,086	-1,337	1,788
Σ	42,700	41,275	0,000	6,322	0,000	6,548
x	4,744	4,586		0,702		0,728

$$S_1^2 = \frac{\Sigma(X_1 - \bar{x}_1)^2}{n - k}$$

$$S_1^2 = \frac{6,322}{9 - 1}$$

$$S_1^2 = 0,7903$$

$$S_2^2 = \frac{\Sigma(X_2 - \bar{x}_2)^2}{n - k}$$

$$S_2^2 = \frac{6,548}{9 - 1}$$

$$S_2^2 = 0,8185$$

$$s^2 = \frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}$$

$$s^2 = \frac{(9-1)0,7903 + (9-1)0,8185}{9+9-2}$$

$$s^2 = 0,8044$$

$$s = 0,8969$$

Statistik uji:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$t = \frac{4,744 - 4,586}{0,8969 \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{1}{9}}}$$

$$t = 0,2642$$

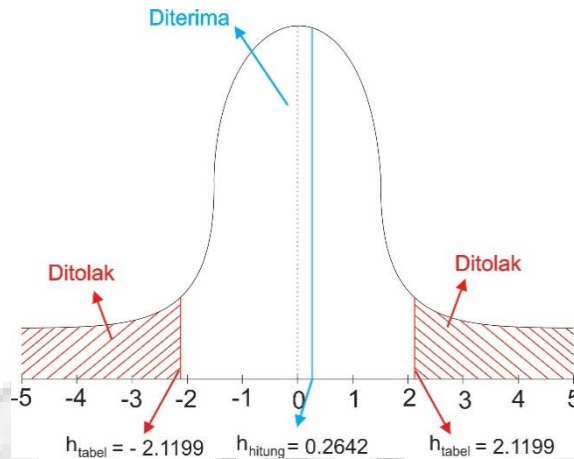
3. Kriteria Uji

Terima H_0 jika $-t_{1-1/2\alpha} < t < t_{1-1/2\alpha}$

Untuk nilai taraf signifikansi / $\alpha = 5\%$, dan dk = 16 maka $t_{1-1/2\alpha} = 2,1199$ dan $-t_{1-1/2\alpha} = -2,1199$

4. Kesimpulan

Karena $-2,1199 < 0,2642 < 2,1199$, maka H_0 diterima. Artinya terdapat kesamaan antara kuat tarik numerik (pemodelan) dengan kuat tarik statis (pengujian).



Gambar 6. Hasil dari Statistik Uji

Dari gambar diatas, terlihat bahwa nilai dari t_{hitung} 0,2642 berada dalam daerah penerimaan. Maka H_0 diterima.

C. Kesimpulan dan Saran

1. Hasil uji kuat tarik tak langsung diperoleh nilai rata-rata kuat tarik pada pengujian laboratorium sebesar 4,586 MPa untuk batupasir, dan 3,385 MPa untuk batulempung.
2. Hasil pemodelan numerik dengan menggunakan program Phase2 diperoleh nilai rata-rata kuat tarik sebesar 4,744 MPa untuk batupasir, dan 3,547 MPa untuk batulempung.
3. Berdasarkan uji statistik kesamaan dua rata-rata untuk batupasir dan batulempung, diperoleh hasil bahwa nilai kuat tarik numerik (pemodelan) dengan nilai kuat tarik statis (laboratorium) terdapat kesamaan. Artinya kuat tarik tak langsung numerik bisa digunakan untuk menggantikan kuat tarik tak langsung statik, apabila tidak ada sampel uji dari lapangan.

Daftar Pustaka

- Barenbaum, R. and Brodie, I. 1959. *Measurement of Tensile Strength of Brittle Materials*. Inggris: J. Appl. Phys.
- Erwinto Simbolon, E. 2015. *Studi Pemodelan Numerik Uji Kuat Tarik Tak Langsung Dengan Metode Beda Hingga*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Handayanu. 2008. *Metode Elemen Hingga Pada Struktur*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Hondros, G. 1959. *The Evaluation of Poisson's Ratio and Modulus of Materials of a Low Tensile Resistance by Brazilian (Indirect Tensile) Test with Particular Refence to Concrete*. Australia: J. Appl. Sci.
- International Society for Rock Mechanics. 1981. *Methods to Determine The Uniaxial Compressive Strenght of Rocks*. Norway: J. Appl. Sci
- Kramadibrata, S. 1990. *The Influence of Specimen Size on Strength of Intact Rock*. Kalgoorlie: Western Australian Conference on Mining Geomechanics.