



Analisa Laju Dilatasi Pada Sudut Kekasaran Dengan Uji Kuat Geser

Antonina Pri Martireni^{1}, Abdul Salam Munir²*

¹*Pusat Riset Kebencanaan Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia*

²*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia.*

[*Antonina.martireni84@gmail.com](mailto:Antonina.martireni84@gmail.com)

SARI

Perilaku massa batuan telah banyak diteliti oleh banyak ilmuwan. Perilaku dari bidang diskontinu lah yang mendominasi dari perilaku massa batuan. Bidang diskontinu memiliki perilaku yang tergantung dari beberapa faktor antara lain kekasaran dan tegangan normal. Kekasaran permukaan geser mempengaruhi perilaku geser pada massa batuan. Pada tegangan normal rendah dipengaruhi oleh kekasaran batuan dan kekasaran batuan akan hancur pada tegangan normal tinggi. Pada batas nilai tegangan normal efektif sebesar 15% dari kuat tekan uniaksialnya, kekasaran permukaan masih berpengaruh pada permukaan rekahan batuan (Ladanyi dan Archambault, 1969). Pada bidang diskontinu yang memiliki kekasaran fenomena dilatancy sering terjadi selain fenomena pergeseran. Bidang lemah direpresentasikan dengan berbagai sudut kekasaran gigi gergaji sebesar 15° , 30° dan 45° pada arah gesernya (β) dan 30° , 45° , 60° dan 90° pada arah sebaliknya (α). Material yang digunakan adalah gypsum dan air dengan perbandingan 4 : 3. Pengujian dilakukan dengan *direct shear test* pada beban tegangan konstan. Tegangan normal yang digunakan sebesar 0,6 kN; 0,4 kN; dan 0,2 kN. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati laju dilatasi yang terjadi pada berbagai sudut kekasaran. Kuat geser puncak diperoleh pada saat pembebanan terbesar yaitu pada pembebanan 0,6 kN. Laju dilatasi puncak terjadi sebelum kuat geser puncak terjadi.

Kata kunci: Kekasaran; Laju Dilatasi; Uji Geser Langsung.

How to Cite: Martireni, A.P., Munir, A.S. 2023. Analisa Laju Dilatasi Pada Sudut Kekasaran Dengan Uji Kuat Geser. Jurnal Geomine, 11 (3): 215 – 226.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submite 18 Agustus 2023
Received in from 25 Oktober 2023
Accepted 5 Desember 2023

Available online

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Numerous scientists have studied rock mass mechanical behavior that dominates of discontinuous plane. Discontinuous plane behavior depends on several factors, such as asperities and normal stress. Asperities of sliding surfaces influence rock mass shear behavior. Rock asperities only affect when applied on low normal stress because rock asperities will be destroyed when applied on high normal stress. Surface asperities still affect effective normal stress limits that work on the surface of the rock fractures by 15% of the uniaxial compressive strength value (Ladanyi & Archambault, 1969). Mechanical behavior



that usually occurs on a discontinuity plane that has asperities is the dilatancy phenomenon in addition to the shear deformation. The asperity angles that were used were 15°, 30° and 45° in line with the shearing process (i) and 30°, 45°, 60° and 90° in the opposite direction from the shearing process (a). The material used is gypsum mixed with water in a ratio of 4 : 3. Laboratory tests that have been conducted were by direct shear test on Normal Constant Loading. Normal stresses used 0.6 kN, 0.4 kN, and 0.2 kN were applied to the samples. This study was conducted to observe the dilatancy rate that occurs at various asperities angles. At a largest loading of 0.6 kN conducted the peak shear strength. The peak dilatancy rate occurs before the peak shear strength occurs.

Keyword: dilatancy rate, asperities, direct shear test.

PENDAHULUAN

Pekerjaan perencanaan penambangan baik penggalian lereng, pembentukan lubang bukaan maupun pembuatan terowongan pada massa batuan merupakan pekerjaan yang bergantung pada jenis massa batuan dan kondisi yang bekerja pada massa batuan tersebut. Pekerjaan ini menyebabkan perubahan kondisi tegangan dan perilaku pada massa batuan aslinya sehingga menyebabkan adanya pergerakan pada area yang terganggu. Pada banyak kasus ketidakstabilan terjadi karena adanya perubahan perilaku geser pada area yang memiliki bidang lemah (diskontinuitas). Evaluasi perilaku batuan pada bidang lemah digunakan sebagai parameter kekuatan geser batuan untuk menunjang kestabilan area.

Kestabilan dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu tegangan efektif yang bekerja pada massa batuan dan kuat geser dari massa batuan tersebut. Kuat geser batuan adalah kemampuan batuan dalam menahan tegangan pada saat batuan menerima beban. Faktor internal dan eksternal dapat mempengaruhi besarnya nilai kuat geser batuan. Bidang diskontinu merupakan factor yang paling banyak mempengaruhi nilai kuat tekan. Bidang diskontinuitas (bidang lemah) yang dimiliki oleh batuan antara lain bidang perlapisan, sesar, dan kekar (Rai dkk., 2014). Untuk itu analisa nilai kuat geser pada batuan yang memiliki bidang lemah perlu dilakukan dalam melakukan perencanaan proses penambangan.

Berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan perilaku geser pada bidang diskontinu dibedakan menjadi beberapa kriteria antara lain kriteria Coulomb, kriteria Newland and Alley, kriteria Patton, kriteria Barton, dan kriteria Ladanyi & Archambault. Ladanyi & Archambault memperkenalkan kriteria kuat geser dengan menggunakan empat komponen dengan komponen gesek pada sudut kekasaran (i) digunakan sebagai pertimbangan pada komponen yang keempat. Kekasaran serta kemiringan sudut dari bidang diskontinu dapat menimbulkan perubahan terhadap gaya geser.

Beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam analisa kuat geser dalam kekasaran permukaan batuan yaitu tegangan normal, kohesi (C), sudut gesek dalam (ϕ), *shear area ratio* dan laju dilatansi. Fenomena dilatansi merupakan suatu fenomena



perubahan volume dari batuan yang terjadi akibat adanya deformasi. Dilatasi merupakan perpindahan yang terjadi selama pengujian kuat geser pada arah vertical atau searah dengan tegangan normal. Fenomena dilatasi inilah yang sering dilupakan oleh para perancang dalam perhitungan kestabilan. Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi laju dilatasi pada sudut kekasaran yang ada pada bidang diskontinu.

Bidang diskontinu pada area penggalian memiliki pengaruh terhadap kestabilan area. Fenomena yang dapat terjadi sepanjang bidang diskontinu adalah fenomena pergeseran dan dilatasi. Efek dari fenomena dilatasi sangat penting dalam perencanaan penambangan terutama pada saat diberikan pembebanan pada area di sekitar bidang diskontinu. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan fenomena laju dilatasi untuk memperhitungkan besarnya laju dilatasi sampai pada kuat geser puncak dalam skala laboratorium.

METODE PENELITIAN

Ketidakstabilan lereng penambangan dipengaruhi oleh beberapa factor salah satunya adalah kuat geser. Bidang diskontinu adalah salah satu faktor mempengaruhi besarnya kuat geser dari massa batuan. Kekasaran serta kemiringan sudut pada bidang diskontinu dapat menimbulkan perubahan terhadap gaya geser. Penyelidikan terhadap parameter batuan seperti kohesi (C), sudut gesek dalam (ϕ), tegangan normal, laju dilatasi dan shear area ratio yang mempengaruhi kuat geser telah banyak dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang tepat terhadap fenomena kegagalan pada saat mengalami perubahan tekanan.

2.1 Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik batuan dilakukan untuk mengetahui berat jenis, bobot isi, kadar air, porositas, derajat kejenuhan, dan void ratio. Uji sifat fisik digunakan untuk klasifikasi batuan.

Prosedur pengujian sifat fisik adalah menimbang berat natural contoh untuk mendapatkan berat normal, kemudian batuan contoh dimasukkan ke dalam desikator berisi air yang berfungsi untuk menjenuhkan batuan contoh. Sebelum batuan yang dijenuhkan perlu dilakukan pemompaan selama 10 menit untuk mengeluarkan gelembung udara yang terdapat dalam batuan contoh. Penjenuhan dalam desikator dilakukan selama 24 jam. Setelah dilakukan penjenuhan, batuan contoh ditimbang dalam keadaan tergantung dalam air untuk mendapatkan berat tergantung dan ditimbang untuk mendapatkan berat jenuh. Kemudian batuan contoh dimasukkan ke dalam oven pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Setelah batuan contoh kering kemudian ditimbang untuk mendapatkan batuan kering. Hasil yang diperoleh digunakan dalam perhitungan untuk memperoleh parameter sifat fisik.

2.2 Kuat Tekan Uniaksial (UCS Test)



Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan batuan / *Unconfined Compressive Strength* (σ_c), *Poisson's ratio* (ν), dan Modulus Elastisitas / *Modulus Young* (E). Peralatan yang digunakan adalah mesin kuat tekan Hung Ta, perangkat komputer yang menunjukkan kenaikan beban yang diaplikasikan. Perpindahan dari batuan contoh pada saat pengujian diukur dengan menggunakan dial gauge yang dipasang sebanyak tiga buah yaitu satu buah untuk membaca perpindahan aksial dan dua buah untuk membaca perpindahan lateral. Batuan contoh yang digunakan mempunyai dimensi $L/D = 2 - 2.5$. Contoh yang digunakan dalam pengujian berbentuk silinder dengan diameter 54.83 mm.

2.3 Uji Kuat Geser

Kuat geser batuan adalah kemampuan batuan dalam menahan tegangan pada saat batuan menerima beban. Kekuatan geser batuan dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal yang mempengaruhi kuat geser batuan adalah sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) massa batuan. Sedangkan pengaruh faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari lingkungan batuan itu sendiri baik yang ada secara alami terjadi maupun faktor yang disebabkan oleh manusia. Faktor – faktor tersebut antara lain adalah tegangan normal, besarnya pembebanan geser, bidang diskontinu, kekasaran permukaan geser, keberadaan material pengisi pada bidang diskontinu, dan skala batuan uji.

Material contoh terbuat dari gipsum dan air dengan perbandingan berat 4 : 3. Waktu pencetakan dilakukan selama 2 jam kemudian didiamkan selama kurang lebih 14 hari sebelum dilakukan pengujian. Contoh yang digunakan dalam pengujian berbentuk silinder dengan diameter 45,75 mm.

2.4 Dilatasi pada Kekasaran Permukaan Geser

Kekuatan geser pada massa batuan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan geser. Kekasaran batuan berbanding lurus dengan kekuatan geser batuan. Pada tegangan normal rendah dipengaruhi oleh kekasaran batuan dan kekasaran batuan akan hancur pada tegangan normal yang tinggi.

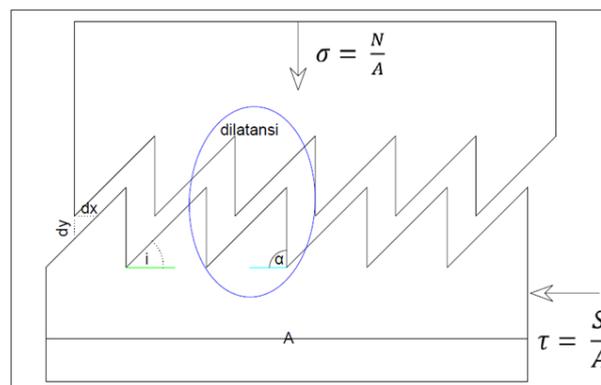
Ladanyi dan Archambault (1969) meneliti bahwa kriteria kuat geser pada batuan masih dipengaruhi oleh kekasaran dari batuan. Pada batas tegangan normal efektif yang bernilai sebesar 15% dari kuat tekan uniaksialnya, kekasaran permukaan masih berpengaruh pada permukaan rekahan batuan (Ladanyi dan Archambault, 1969). Kekuatan batuan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan bidang diskontinu batuan pada tingkat tegangan normal sebesar 20% kuat tekan batuan (Grasselli, 2001). Yang perlu diperhatikan pada uji kuat geser adalah batas elastisitas batuan harus lebih rendah dari tegangan normal maksimumnya.



Perpindahan pada uji kuat geser langsung terjadi secara lateral dan vertikal (dilatansi). Dilatansi merupakan suatu fenomena perubahan volume dari batuan yang terjadi akibat adanya deformasi. Dilatansi terjadi karena kondisi nonhomogen dari suatu diskontinuitas. Fenomena dilatansi digambarkan dengan model gigi gergaji.

Kondisi di lapangan kekar batuan memiliki permukaan dengan kekasaran yang tidak teratur. ISRM mendiskripsikan bahwa kekasaran pada bidang diskontinu dikategorikan berdasarkan bentuk geriginya yaitu *waviness* dan *unevenness*. *Waviness* adalah bidang yang mempunyai gerigi dengan undulasi skala besar, dimana satu sama lain saling mengunci akan menyebabkan dilatansi pada saat terjadi pergeseran. Hal ini disebabkan karena geriginya terlalu besar untuk dapat patah dan tergerus. *Unevenness* adalah bidang yang mempunyai kekasaran dengan undulasi kecil yang cenderung patah pada saat dilakukan pergeseran kecuali jika bidang diskontinu mempunyai kekuatan yang besar dan mempunyai tekanan yang rendah sehingga dilatansi dapat terjadi pada kondisi ini.

Pada uji kuat geser untuk model gigi gergaji, selama resultan gaya berada pada batas sudut geser gerigi maka tidak akan ada perpindahan. Sebaliknya akan terjadi pergerakan pada arah sudut (i) jika resultan gaya melebihi batas sudut geser. Pada bidang geser akan terjadi rekahan yang terbuka dan dilatansi. Tegangan normal (σ_n) akan bereaksi melawan dilatansi. Apabila hal ini terus terjadi, maka pergeseran langsung akan terjadi karena gerigi akan kelebihan beban. Pergeseran akan terus berlanjut sejajar terhadap bidang geser tanpa terjadi dilatansi. Dilatansi dapat digunakan sebagai monitoring awal adanya ketidakstabilan (Gambar 1).



Gambar 1. Konsep dilatansi pada uji geser batuan

Dimana,

σ : tegangan normal

N : gaya normal

A : luas permukaan

τ : tegangan geser

S : gaya geser



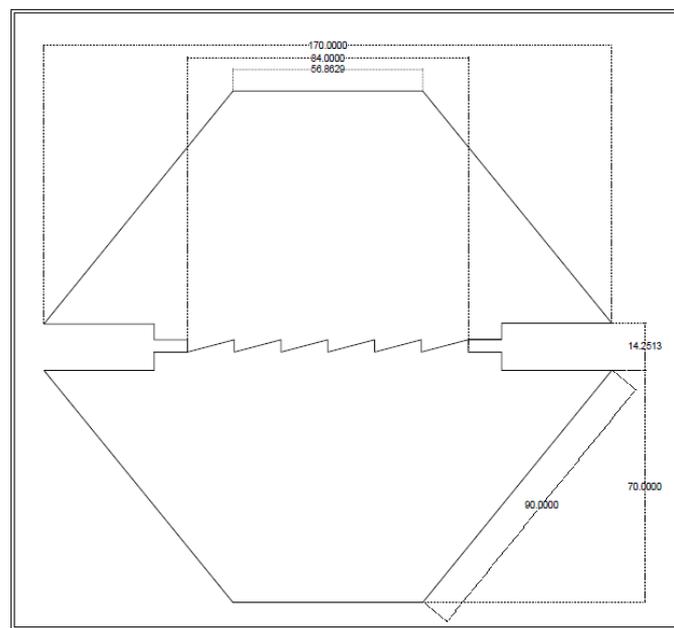
i : sudut kemiringan searah

α : sudut berlawanan

dx : pergeseran

dy : perpindahan normal

Pengujian bidang lemah menggunakan cetakan trapesium dengan permukaan berbentuk gigi gergaji dan permukaan flat. Ukuran kotak cetak geser terdiri dari bagian bawah dan atas yang masing – masing memiliki panjang sisi – sisi sejajar 56,86 mm dan 170 mm, dan sisi miring berukuran 90 mm (Gambar 2). Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua kelompok, antara lain sampel A dan sampel B.



Gambar 2. Dimensi contoh uji geser gigi gergaji (dalam 1000 mm)

Pengujian geser langsung bidang lemah untuk batuan contoh dilakukan dengan alat uji geser langsung dengan kapasitas proving ring gaya normal maksimum 1 kN dan proving ring gaya geser sebesar 4 kN. Beban normal diberikan dengan menggunakan beban besi baja dengan berat tertentu sesuai yang telah ditentukan yang kemudian dikaitkan pada proving ring gaya normal. Beban normal yang digunakan sebesar 0,2 kN; 0,4 kN; dan 0,6 kN. Penggunaan beban normal termasuk dalam kategori rendah agar perilaku geser pada bidang lemah dapat terlihat lebih jelas.

Beban geser diberikan secara manual dengan cara memutar roda ulir yang terhubung dengan proving ring gaya geser. Laju perpindahan geser dibaca setiap 0,25 mm agar perpindahan geser (horizontal) dan perpindahan normal (vertikal) dapat terlihat lebih jelas. Pembacaan perpindahan geser dan perpindahan normal menggunakan dial gauge yang diletakkan pada bagian atas dan pada bagian samping kotak geser. Untuk memantau dilatasi pada bidang lemah digunakan kamera yang diletakkan di depan kotak geser.



HASIL PENELITIAN

3.1 Sifat Fisik dan Mekanik

Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik yang sudah dilakukan di laboratorium. Sifat fisik menunjukkan bahwa batuan uji memiliki densitas sebesar 1,2 gr/cc; true specific gravity sebesar 2,4; kadar air asli sebesar 40,70%; kadar air jenuh sebesar 75,18%; porositas sebesar 64,32%; dan void rasio sebesar 1,8 (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil uji sifat fisik

Sifat Fisik	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Rata-rata
Berat jenis sejati		2,37	2,40	2,51	2,32	2,40
Berat jenis semu		0,85	0,87	0,87	0,84	0,86
Bobot isi asli	gr/cc	1,22	1,17	1,18	1,24	1,20
Bobot isi kering	gr/cc	0,85	0,87	0,87	0,84	0,86
Bobot isi jenuh	gr/cc	1,49	1,51	1,52	1,48	1,50
Kadar air asli	%	44,16	35,01	36,56	47,05	40,70
Kadar air jenuh	%	76,07	73,67	75,63	75,36	75,18
Porositas	%	64,32	63,91	65,46	63,61	64,32
Derajat kejenuhan	%	58,05	47,53	48,34	62,43	54,09
Void Ratio		1,80	1,77	1,90	1,75	1,80

3.2 Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial

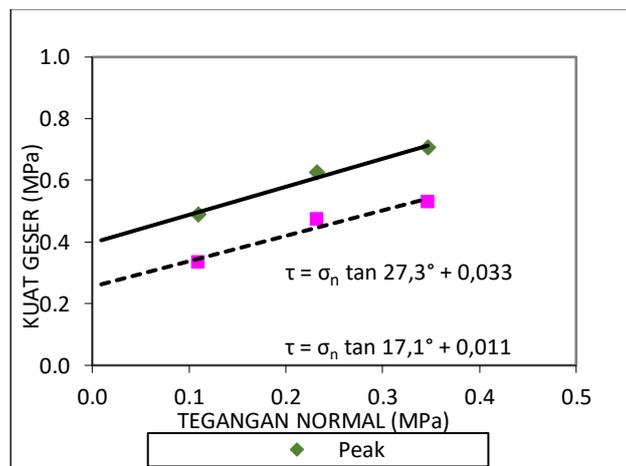
Hasil pengujian laboratorium diperoleh nilai kuat tekan batuan sebesar 2,72 MPa (Tabel 2). Menurut Bieniawski (1973) batuan uji termasuk dalam klasifikasi batuan sangat lunak. Nilai UCS bertujuan untuk menentukan tegangan normal yang akan diaplikasikan pada uji geser langsung. Nilai tegangan normal untuk uji kuat geser langsung tidak lebih 20% dari nilai kekuatan batuan yaitu sebesar 0,54 MPa.

Tabel 2. Hasil uji kuat tekan uniaksial

Sifat mekanik	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Rata-rata
Kuat tekan uniaksial (σ_c)	Mpa	2,35	3,02	2,30	3,21	2,72
Modulus Young (E)	Mpa	369,76	592,30	416,46	682,89	515,35
Nisbah Poisson (ν)		0,10	0,56	0,17	0,63	0,37
Kuat tarik (σ_t)	Mpa	0,76	0,79	0,73	0,82	0,78
Kohesi puncak	Mpa					0,40
Sudut gesek dalam puncak	°					42,31
Kohesi residu	Mpa					0,26
Sudut gesek dalam residu	°					39,52

3.3 Hasil Uji Geser Langsung

Pengujian geser langsung yang dilakukan di laboratorium diperoleh hasil bahwa nilai kohesi sebesar 0,397 MPa dan sudut gesek dalam sebesar 42,31°. Hasil perhitungan inilah yang akan digunakan dalam perhitungan pemodelan numerik dan perhitungan kuat geser empirik.



Gambar 3. Hasil uji geser langsung batuan uji

3.3 Hasil Uji Laboratorium Pada Batuan Uji dengan Gigi Gergaji

Pengujian yang dilakukan adalah uji geser langsung pada batuan uji dengan gigi gergaji. Hasil pengujian pada batuan sampel dengan gigi gergaji, diperoleh tegangan normal, kuat geser, dan perpindahan baik secara vertikal maupun horizontal. Perpindahan secara vertical dan horizontal inilah yang kemudian digunakan untuk mengukur laju dilatansi.

Pada pengujian laboratorium, kuat geser puncak diperoleh dengan cara membagi gaya geser dengan luas permukaan geser. Dari hasil uji laboratorium pada Sampel A, kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,6 kN sebesar 0,185 MPa. Dari hasil uji laboratorium pada Sampel B, kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,6 kN sebesar 0,221 MPa. Berdasarkan uji laboratorium pada kedua sampel, kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,6 kN dan rata-rata kuat geser puncak sebesar 0,203 MPa.

Tabel 3. Nilai kuat geser puncak

Kuat Geser Puncak (MPa)	Sample A					Sample B				
	α					α				
<i>i</i>	30°	45°	60°	90°	Rata-rata	30°	45°	60°	90°	Rata-rata
15°										
0,2 kN	0,057	0,135	0,118	0,169	0,120	0,172	0,131	0,209	0,075	0,147
0,4 kN	0,109	0,235	0,243	0,219	0,202	0,435	0,173	0,278	0,114	0,250
0,6 kN	0,150	0,298	0,212	0,107	0,192	0,374	0,296	0,375	0,360	0,351



30°									
0,2 kN	0,098	0,182	0,265	0,182		0,110	0,108	0,124	0,114
0,4 kN	0,139	0,300	0,236	0,225		0,172	0,198	0,133	0,168
0,6 kN	0,200	0,410	0,084	0,232		0,229	0,328	0,249	0,269
45°									
0,2 kN		0,182	0,104	0,143			0,170	0,118	0,144
0,4 kN		0,184	0,182	0,183			0,344	0,073	0,208
0,6 kN		0,225	0,154	0,189			0,292	0,330	0,311

Laju dilatansi diukur dengan menggunakan perbandingan perpindahan secara vertical dan horizontal. Dari hasil uji laboratorium pada Sampel A, laju dilatansi puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,4 kN dengan rata-rata sebesar 0,301. Dari hasil uji laboratorium pada Sampel B, laju dilatansi puncak banyak diperoleh pada pembebanan 0,6 kN dengan rata-rata sebesar 0,412. Berdasarkan uji laboratorium pada kedua sampel, laju dilatansi puncak banyak diperoleh pada pembebanan 0,4 kN dan rata-rata sebesar 0,357.

Tabel 4. Nilai laju dilatansi puncak

Laju Dilatansi Puncak	Sample A					Sample B				
	α									
<i>i</i>	30°	45°	60°	90°	Rata-rata	30°	45°	60°	90°	Rata-rata
15°										
0,2 kN	0,052	0,052	0,440	0,288	0,208	0,480	0,373	0,407	0,206	0,366
0,4 kN	0,400	0,076	0,253	0,408	0,284	0,205	0,344	0,293	0,147	0,247
0,6 kN	0,215	0,051	0,369	0,310	0,236	0,760	0,393	0,947	0,003	0,526
30°										
0,2 kN		0,640	0,570	0,063	0,425		0,280	0,390	0,242	0,304
0,4 kN		0,311	0,069	0,324	0,235		0,400	0,149	0,185	0,245
0,6 kN		0,280	0,240	0,262	0,261		0,280	0,481	0,271	0,344
45°										
0,2 kN			0,213	0,295	0,254			0,760	0,632	0,696
0,4 kN			0,553	0,509	0,531			0,589	0,677	0,633
0,6 kN			0,400	0,486	0,443			0,367	0,867	0,617

Hasil analisa yang diperoleh untuk nilai kuat geser terbesar yang diperoleh pada saat terjadi laju dilatansi puncak adalah pada Sampel A, kuat geser terjadi pada pembebanan 0,6 kN dengan rata-rata sebesar 0,105 MPa. Sedangkan pada Sampel B, kuat geser terbesar pada saat terjadi laju dilatansi puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,4 kN dengan rata-rata sebesar 0,097 MPa. Berdasarkan uji laboratorium pada kedua sampel, kuat geser terbesar pada saat terjadi laju dilatansi puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,4 kN dan rata-rata kuat geser puncak sebesar 0,101 MPa.



Tabel 5. Nilai kuat geser saat terjadi laju dilatansi puncak

Kuat Geser Maks. (MPa)	Sample A					Sample B				
	α									
<i>i</i>	30°	45°	60°	90°	Rata-rata	30°	45°	60°	90°	Rata-rata
15°										
0,2 kN	0,043	0,093	0,026	0,086	0,062	0,037	0,025	0,045	0,074	0,045
0,4 kN	0,109	0,207	0,069	0,100	0,121	0,430	0,060	0,223	0,110	0,206
0,6 kN	0,148	0,280	0,139	0,107	0,169	0,005	0,057	-0,006	0,128	0,046
30°										
0,2 kN		0,076	0,110	0,150	0,112		0,014	0,034	0,072	0,040
0,4 kN		0,131	0,096	0,102	0,110		0,020	0,106	0,044	0,057
0,6 kN		0,002	0,048	0,084	0,045		0,119	0,215	0,249	0,194
45°										
0,2 kN			0,094	0,071	0,083			-0,004	0,056	0,026
0,4 kN			0,182	0,144	0,163			0,333	0,066	0,200
0,6 kN			0,016	0,130	0,073			0,130	-0,012	0,059

Hasil analisa besarnya laju dilatansi yang diperoleh pada saat terjadi kuat geser puncak adalah pada Sampel A, laju dilatansi terjadi pada pembebanan 0,4 kN sebesar 0,201. Sedangkan pada Sampel B, laju dilatansi pada saat kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,6 kN sebesar 0,258. Dari hasil uji laboratorium pada kedua sampel, laju dilatansi pada saat kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan 0,6 kN sebesar 0,229.

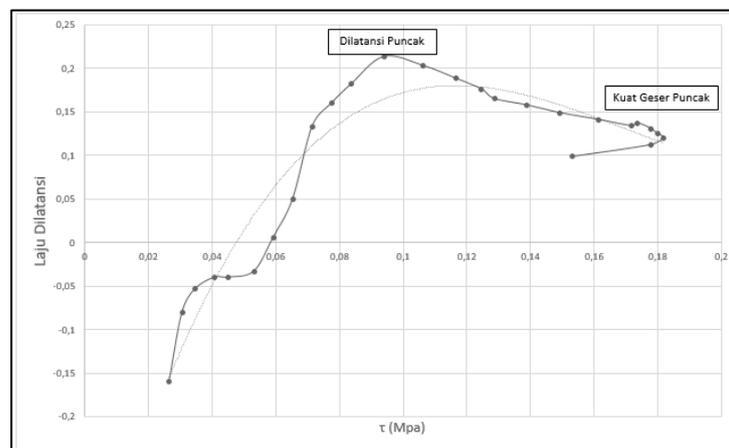
Tabel 6. Nilai laju dilatansi saat kuat geser puncak

Laju Dilatansi Maks.	Sample A					Sample B				
	α									
<i>I</i>	30°	45°	60°	90°	Rata-rata	30°	45°	60°	90°	Rata-rata
15°										
0,2 kN	-0,080	-0,022	0,038	0,171	0,027	0,263	0,297	0,332	0,185	0,269
0,4 kN	0,400	0,056	0,032	0,333	0,205	0,139	0,279	0,259	0,138	0,204
0,6 kN	0,173	0,041	0,262	0,310	0,197	0,440	0,199	0,385	-0,028	0,249
30°										
0,2 kN		0,480	0,495	0,012	0,329		0,217	0,129	0,238	0,195
0,4 kN		0,260	0,058	0,168	0,162		0,251	0,040	0,129	0,140
0,6 kN		0,056	0,073	0,213	0,114		0,273	0,391	0,271	0,312
45°										
0,2 kN			0,120	0,015	0,067			0,129	0,480	0,304
0,4 kN			0,525	0,408	0,467			0,563	0,610	0,586
0,6 kN			0,333	0,482	0,407			0,208	0,144	0,176



Hasil pengujian laboratorium diperoleh bahwa laju dilatansi terbesar terjadi sebelum kuat geser puncak terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan terbesar suatu bidang diskontinuitas terjadi pada awal terjadinya pergeseran.

Kuat geser puncak pada sampel A dan B banyak terjadi pada saat pembebanan 0,6 kN sebesar 0,203 MPa. Laju dilatansi baik puncak maupun laju dilatansi yang terjadi pada saat kuat geser puncak pada Sampel A banyak terjadi pada pembebanan 0,4 kN; sedangkan pada Sampel B diperoleh pada pembebanan 0,6 kN. Laju dilatansi puncak diperoleh sebesar 0,357. Sedangkan laju dilatansi pada saat kuat geser puncak diperoleh sebesar 0,229. Kuat geser terbesar pada saat dilatansi puncak pada sampel A diperoleh pada pembebanan 0,6 kN sedangkan pada Sampel B diperoleh pada pembebanan 0,4 kN. Rata-rata kuat geser terbesar pada dilatansi puncak diperoleh sebesar 0,101 MPa.



Gambar 4. Hasil uji laboratorium kuat geser puncak dan dilatansi puncak

Kuat geser puncak banyak terjadi pada pembebanan terbesar yaitu 0,6 kN. Besarnya beban normal sebanding dengan besarnya kuat geser. Dalam uji laboratorium yang dilakukan menunjukkan kondisi tersebut.

Perbedaan besarnya nilai pembebanan saat terjadi dilatansi puncak dan dilatansi pada saat kuat geser puncak terjadi karena nilai beban normal memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Beban normal yang dipilih termasuk ke dalam golongan low normal stress.

KESIMPULAN

Laju dilatansi puncak dari berbagai kekasaran diperoleh sebesar 0,357 dan laju dilatansi pada saat kuat geser puncak diperoleh sebesar 0,229. Laju dilatansi puncak diperoleh pada pembebanan 0,4 kN. Sedangkan laju dilatansi saat kuat geser puncak diperoleh pada pembebanan 0,6 kN. Hal ini dimungkinkan karena besarnya pembebanan normal masih dalam variasi yang tidak terlalu jauh (low normal stress). Kuat geser puncak



diperoleh pada saat pembebanan terbesar yaitu pada pembebanan 0,6 kN. Laju dilatansi puncak terjadi sebelum kuat geser puncak terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan terbesar suatu bidang diskontinuitas terjadi pada awal terjadinya pergeseran.

PUSTAKA

- Arif, Irwandy. 2014. *Pemodelan Struktur Alamiah, Diktat Kuliah TA. 733*, Program Pasca Sarjana, Rekayasa Pertambangan ITB, Bandung.
- Bieniawski, Z. T. 1976. *Engineering Rock Mass Classification*, Canada: John Wiley and Sons.
- Byerlee, J. D. 1968. *Brittle-Ductile Transition in Rocks*, Journal of Geophysical Research, 73,(14), 4741-4750.
- Fairhurst, C. 1964. *On the Validity of Brazilian Test for Brittle Materials*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1, 535-546.
- Grasselli, G. 2001. *Shear strength of rock joints based on quantified surface description*, Thesis, Italy.
- Hossaini, K.A., Babanouri, N., dan Nasab, S. K. 2014. *The influence of asperity deformability on the mechanical behaviour of rock joint*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 70, 154 – 161.
- ISRM. 1978. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities*, International Journal Rock Mechanics Mining, 320, 68.
- Jaeger, J.C., Cook, N.G.W., dan Zimmerman, R.W. 2007. *Fundamentals of Rock Mechanics*, Edisi Keempat, Australia: Blackwell Publishing.
- Kwasniewski, M. dan Oitaben, P.R. 2012. *Study on the dilatancy angle of rocks in the pre-failure domain, Harmonising Rock Engineering and the Environment*, London: Taylor and Francis Group.
- Ladanyi, B. dan Archambault, G. 1969. *Simulation of shear behavior of jointed rockmass*. Proc. 11th Symp. On Rock Mechanics : Theory and Practice, (pp 105-125), AIME, New York.
- Li, Y., Oh, J., Mitra, R. dan Hebblewhite, B. 2016. *A Constitutive Model For A Laboratory Rock Joint with Multi-scale Asperity Degradation*, Computers and Geotechnics, 72, 143-151.
- Mogi, K. 1996. *Pressure Dependence of Rock Strength and Transition from Brittle Fracture to Ductile Flow*, Bulletin, Earthquake Research Institute, Tokyo University, 44, 215-232.
- Newland, P. L., dan Allely, B. H. 1957. *Volume changes in drained triaxial tests on granular material*, Geotechnique, 7(1)
- Oh, J., Cording, E.J. dan Moon, T. 2015. *A joint shear model incorporating small scale and large scale irregularities*, International Journal Rock Mechanics & Mining, 76, 78 -87.
- Pariseau, W. G. 2006. *Design Analysis in Rock Mechanics*. Netherlands: Balkema.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., dan Wattimena, R. K. 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: ITB.
- Ripley, C., F., dan Lee, K., L. 1961. *Sliding Friction Tests on Sedimentary Rock Specimens*, Proceedings, 7th Congress on Large Dams, (pp. 657-671), Rome.
- Rowe, P., W. 1962. *The Stress-Dilatancy Helation for Static Equilibriuni of an Assembly of Particles in Contact*, Proceedings, Royal Society of London, Vol. 269, (pp. 500-527).