

PENGARUH BENTUK DAN UKURAN TERHADAP KUAT TEKAN UNIAKSIAL BATUAN UTUH

Romla Noor Hakim^{1*}, Tommy Trides², Eko Santoso¹, Hajar Bintara³, Sari Melati¹

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

² Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

³ Mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

e-mail: *romla@unlam.ac.id

ABSTRAK

Penambangan batubara di Kalimantan akan menggunakan sistem tambang bawah tanah setelah sistem tambang terbuka tidak memungkinkan lagi diterapkan untuk mengeksploitasi batubara cadangan batubara yang lebih dalam. Salah satu metode tambang bawah tanah untuk batubara adalah metode *room and pillar*. Rancangan pilar sangat dipengaruhi oleh beban batuan penutup dan kekuatan batubara itu sendiri. Pengukuran kekuatan contoh berukuran kecil di laboratorium kerap dilakukan untuk memprediksi kekuatan batuan skala lapangan dengan beberapa penyesuaian. Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahap dengan sampel uji yang terdiri dari *overburden* (batulanau dan batupasir), batubara, serta material homogen sebagai pembanding berupa beton. Penelitian tahap pertama bertujuan untuk melakukan uji kuat tekan uniaksial menggunakan tiga rasio tinggi (H) dan lebar (W) contoh batulempung yaitu $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, 1 dengan beberapa variasi luas permukaan sampel; menemukan persamaan yang menunjukkan hubungan antara rasio tinggi dan lebar serta luas permukaan sampel yang ditekan terhadap kuat tekan uniaksialnya.

Pada penelitian tahap awal ini dilaksanakan uji sifat fisik dan uji kuat tekan uniaksial di laboratorium pada contoh batulempung yang dipotong dari spesimen lapangan berukuran bongkah. Pemotongan contoh dilakukan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan variasi bentuk dan ukuran yang direncanakan dalam rancangan pengujian. Data hasil uji kuat tekan uniaksial pada berbagai rasio tinggi dan lebar contoh (H/W) serta variasi luas permukaan diolah hingga diperoleh persamaan yang menjelaskan bagaimana pengaruh kedua parameter tersebut.

Hasil penelitian sampai saat ini menunjukkan bahwa pada rentang nilai $\frac{1}{3}$ - 1, kuat tekan uniaksial batulempung (dalam satuan MPa) berbanding lurus dengan rasio H/W dan berbanding terbalik dengan luas permukaan contoh (dalam satuan cm²) yang ditekan. Persamaan yang diperoleh :

$$\text{Kuat tekan uniaksial} = 9.55(\text{Rasio H/W}) + 3.55$$

$$\text{Kuat tekan uniaksial} = -2.91 \ln(\text{luas permukaan}) + 20.52$$

$$\text{Kuat tekan uniaksial} = -4.41 \ln(\text{luas permukaan}) + 25.72$$

$$\frac{1}{3} \geq H/W \leq 1$$

$$H/W = \frac{1}{2}$$

$$H/W = 1$$

Selanjutnya perlu dilakukan penelitian pada sampel batulanau, batupasir dan batubara dengan rasio H/W > 1.

Kata-kata kunci: Batuan utuh, kuat tekan uniaksial, pengaruh bentuk

PENDAHULUAN

Sebagian besar penambangan batubara di Kalimantan masih menggunakan sistem tambang terbuka, seperti *open cut* dan *open cast*. Metode penambangan ini mudah diterapkan baik dari segi persiapan maupun operasionalnya. Pada sistem penambangan secara tambang terbuka, ada kedalaman maksimal penambangan karena keterbatasan teknis dan ekonomis. Jika batas kedalaman (ultimate pit limit) ini sudah tercapai, maka penambangan sisa cadangan batubara hanya bisa dilanjutkan menggunakan sistem tambang bawah tanah. Pada metode penambangan bawah tanah, geoteknik merupakan salah satu faktor teknis yang sangat penting. Oleh karena itu, diperlukan kajian geoteknik yang komprehensif dan berkelanjutan untuk mendukung proses prospeksi pelaksanaan penambangan batubara bawah tanah di masa yang akan datang.

Metode penambangan bawah tanah yang umum untuk batuan berlapis dengan kemiringan datar sampai 30° seperti batubara ialah *room and pillar* atau *longwall*. Pada metode *room and pillar*, batubara ditambang dengan menyisakan pilar-pilar batubara sebagai penyangga lubang bukaan. Batubara digunakan sebagai pilar untuk menyangga batuan yang berada diatas atap dan di bawah lantai agar atapnya tidak runtuh. Pilar harus dapat menahan tekanan akibat beban batuan yang berada di atasnya. Kestabilan pilar dinilai dari perbandingan antara tekanan yang dialami dengan kuat tekan pilar yang

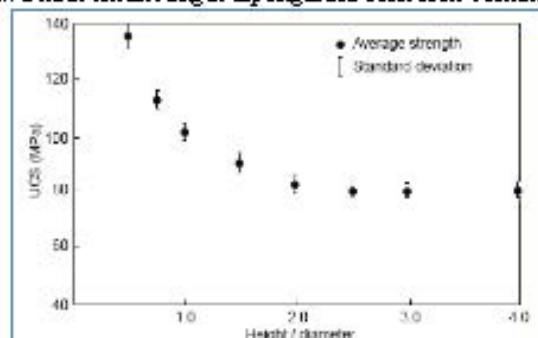
dipengaruhi oleh dimensi (ukuran tinggi, panjang, dan lebar pilar). Untuk itu perlu dilakukan perhitungan yang baik untuk menentukan dimensi pilar, baik panel pillar maupun *barrier pillar* yang sesuai dengan kondisi geologi tempat menambang nantinya.

Kuat tekan batuan di lapangan dapat diprediksi dari kuat tekan batuan utuh yang diperoleh pada pengujian di laboratorium dengan mempertimbangkan efek bentuk dan efek skala. Permodelan skala kecil di laboratorium umum dilakukan sebagai simulasi untuk meramalkan kondisi batuan di lapangan.

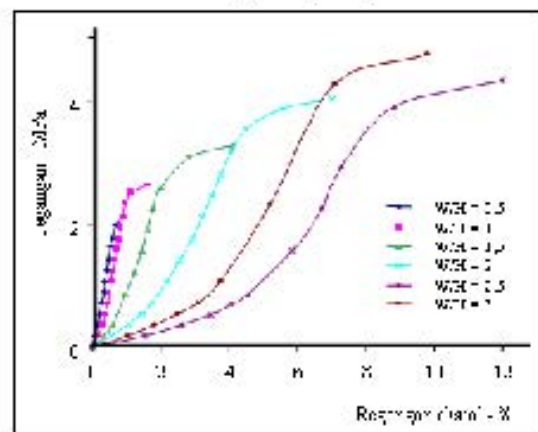
Untuk mempelajari kekuatan dari dimensi dan geometri pilar, serangkaian pengujian untuk mengetahui efek bentuk terhadap kuat tekan dengan contoh material uji terbuat dari semen dan pasir dengan perbandingan semen dan pasir 1:10 dilakukan. Contoh beton yang digunakan dibentuk persegi dengan lebar contoh sebagai variabel terikatnya dan tinggi sebagai variabel bebasnya, sehingga nantinya akan diketahui pengaruh dari efek bentuk pada kuat tekan beton untuk setiap perbandingan lebar (W) dan tinggi contoh (H).

Efek bentuk dari contoh batu pasir dilakukan oleh John (1972) dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar-1 bahwa kuat tekan menurun seiring dengan meningkatnya perbandingan H/W. Sedangkan dari contoh beton (1:10) diperoleh gambaran bahwa selain kuat tekan menaik dengan membesarnya W/H (Gambar-2.), maka contoh batu semakin menunjukkan *ductility* dan ke arah deformasi

plastik. Dari kedua contoh tersebut dapat disimpulkan bahwa kuat tekan sangat dipengaruhi oleh efek bentuk.



Gambar-1. Efek bentuk pada kuat tekan uniaxial untuk batupasir kering (John, 1972)



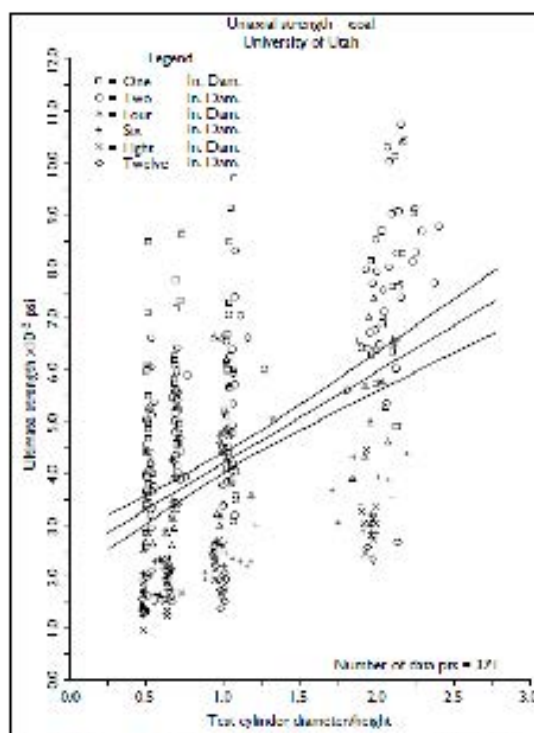
Gambar-2. Kurva tegangan-regangan aksial contoh beton (1:10)

Gambar-3 menunjukkan kuat tekan uniaxial Batubara Formasi Utah (Tambang Beehive) sebagai fungsi dari D/L untuk pengujian contoh silinder dengan diameter 1, 2, 4, 6, 8, dan 12 inci. Rentang kekuatan setiap perbandingan L/D ditentukan dan dihubungkan dengan diameter silinder contoh uji, semakin besar diameter cenderung semakin lemah. Regresi linier kuat tekan pada perbandingan D/L dari 371 pengujian menunjukkan rata-rata kekuatan meningkat sebanding peningkatan rasio D/L.

Berdasarkan uraian di atas, maka diusulkan penelitian mengenai pengaruh bentuk terhadap kuat tekan uniaxial contoh batuan utuh pada batubara dan overburden (batupasir dan batulanau). Beberapa permasalahan yang perlu diteliti berkaitan dengan latar belakang di atas yaitu : bagaimana pengaruh bentuk contoh batuan utuh yang diuji di laboratorium terhadap kuat tekan uniaxial, apakah hubungan antara rasio tinggi dan lebar contoh batubara dengan kuat tekan uniaxial memenuhi persamaan tertentu, dapatkah persamaan yang diperoleh digunakan untuk memprediksi kuat tekan batuan dengan dimensi yang lebih besar, misalnya sekuran pilar tambang batubara bawah tanah?

Dari penentuan masalah kemudian ditentukan tujuan penelitian ini : melakukan uji kuat tekan uniaxial menggunakan tiga rasio tinggi (H) dan lebar (W) contoh batubara yaitu $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, dan 1 ; menemukan persamaan yang menunjukkan hubungan antara rasio tinggi dan lebar contoh dengan kuat tekan uniaxial batubara, menggunakan yang diperoleh digunakan untuk memprediksi kuat tekan batubara dengan dimensi yang lebih besar. Data sifat fisik dan kuat tekan uniaxial batuan utuh yang diperoleh dapat digunakan jika perusahaan ingin melakukan kajian geoteknik. Misalnya, prediksi kuat tekan

pilar batubara sebagai data awal untuk studi kelayakan pendakwaan tambang bawah tanah.



Gambar-3. Regresi linier (tingkat kepercayaan 95%) hubungan antara kuat tekan uniaxial dengan perbandingan diameter terhadap tinggi contoh silinder batubara (Pariseau et al., 1977)

METODOLOGI

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen (percobaan). Penelitian eksperimen merupakan bentuk penelitian percobaan yang berusaha untuk mengisolasi dan melakukan kontrol setiap kondisi-kondisi yang relevan dengan situasi yang diteliti kemudian melakukan pengamatan terhadap efek atau pengaruh ketika kondisi-kondisi tersebut dimanipulasi. Dengan kata lain, perubahan atau manipulasi dilakukan terhadap variabel bebas dan pengaruhnya diamati pada variabel terikat. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan uniaxial, sedangkan variabel tidak terikatnya rasio tinggi/lebar (H/W) dan luas permukaan contoh yang ditekan. Variabel tetap untuk rasio H/W ialah tinggi (H) contoh. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.

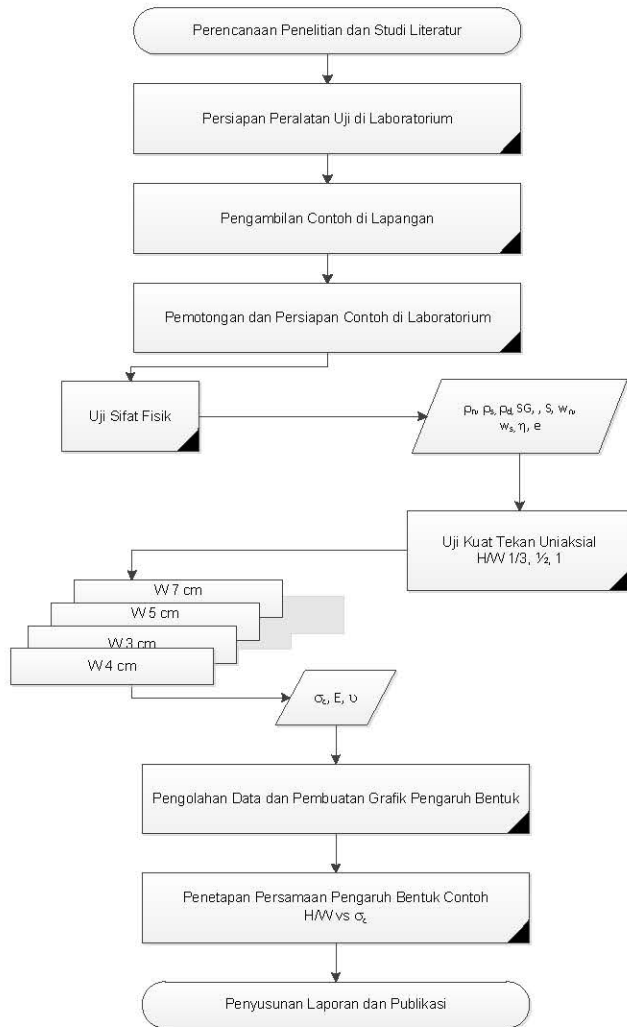
Sampel yang digunakan untuk penelitian ini adalah batulanau berukuran 50 x 50 x 50 meter sebanyak 4 bongkah yang diambil dari suatu tambang batubara di Kalimantan Selatan, sebagai contoh batuan yang akan dipotong dan diuji sifat fisik dan kuat tekan uniaxialnya di laboratorium.

Kegiatan penelitian dirangkum dalam diagram alir pada Gambar-4 terdiri dari :

a. Perencanaan penelitian dan studi literatur

Rencana penelitian disesuaikan kebutuhan penerapan ilmu Mekanika Batuan yang bermanfaat bagi daerah dan teknologi penambangan di Kalimantan. Topik yang dipilih ialah pengaruh bentuk terhadap kuat tekan uniaxial batubara. Hasil penelitian ini diharapkan bisa berguna untuk memprediksi kuat tekan pilar batubara tambang bawah tanah. Studi literatur dilakukan dengan

mempelajari penelitian terdahulu mengenai pengaruh bentuk terhadap kuat tekan uniaksial terhadap batupasir dan beton. Selanjutnya ditentukan rancangan penelitian (experimental design) dan ditetapkan target waktu pengerjaan. Rancangan penelitian meliputi pemilihan lokasi pengambilan contoh, jumlah dan ukuran contoh uji, serta hipotesa awal hasil penelitian.



Gambar-4. Diagram penelitian

b. Persiapan peralatan uji di laboratorium

Peralatan untuk preparasi contoh, uji sifat fisik, dan uji kuat tekan uniaksial terlebih dahulu dicek kondisinya. Kemudian dilakukan perbaikan jika ada yang rusak atau penambahan komponen-komponen alat yang masih kurang untuk mendukung kelancaran penelitian.

c. Pengambilan contoh di lapangan

Contoh dari lapangan diambil dari salah satu tambang yang beroperasi di Formasi Tanjung. Contoh berbentuk bongkah (boulder) dengan ukuran 50 x 50 x 50 cm sebanyak 4 bongkah. Kemudian contoh diangkut ke Laboratorium Teknologi Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

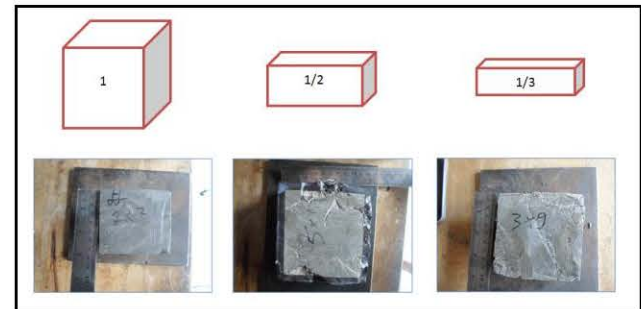
d. Pemotongan dan persiapan contoh di laboratorium

Contoh dipotong untuk uji kuat tekan uniaksial dengan variasi ukuran tercantum dalam Tabel-1 dan diilustrasikan dengan Gambar-5. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah pemotongan semua contoh harus searah. Ini dimaksudkan untuk meminimalisir pengaruh anisotropi (perbedaan sifat pada arah berbeda) yang umumnya dimiliki batuan berlapis. Arah pemotongan

sebaiknya diusahakan agar tinggi contoh tegak lurus dengan perlapisan batuan supaya kuat tekan uniaksial yang diperoleh dapat mewakili kuat tekan pilar batubara pada tambang bawah tanah yang biasanya dibuat tegak lurus perlapisan.

Tabel-1. Ukuran contoh untuk uji kuat tekan uniaksial

H/W	W = lebar contoh (cm)			
	3	4	5	7
H = tinggi contoh (cm)				
1/3	9	-	-	-
1/2	6	-	10	-
1	3	4	5	7



Gambar-5. Atas : ukuran contoh menurut perbandingan tinggi dan lebar (H/W), bawah : luas permukaan tekan 49, 100, dan 81 cm²

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari (Gambar-6.):

- Mesin potong, untuk memotong contoh sesuai bentuk yang dibutuhkan
- Mesin tekan, untuk memberikan tekanan
- Dial gauge, untuk mengukur regangan selama pengujian berlangsung
- Alat ukur (meteran, penggaris, dan jangka sorong), untuk mengukur dimensi contoh
- Pompa Vacuum, untuk menyedot udara dari pori-pori batubara
- Desikator, untuk menjenuhkan pori-pori batubara dengan air
- Oven, untuk mengeringkan contoh
- Neraca analitik, untuk menimbang berat contoh dalam uji sifat fisik



Gambar-6. Instrumen penelitian : desikator (kiri atas), vacuum (tengah atas), gerinda (kiri bawah), timbangan (tengah bawah), alat potong dan alat uji kuat tekan (kanan)

Prosedur yang dilakukan untuk memperoleh data kuat tekan uniaksial adalah sebagai berikut.

- Contoh batuan diletakkan di tengah-tengah pelat dasar alat uji.
- Tiga unit dial gauge dipasang untuk mengukur perpindahan selama pembebanan, 1 unit untuk

mengukur perpindahan aksial, dan dua unit lainnya untuk mengukur perpindahan lateral sebagaimana foto pada Gambar-7.

- Mesin hidrolik dihidupkan untuk menggerakkan piston sehingga menekan pelat ke bawah. Ketika pelat menyentuh bidang kontak contoh, bidang kontak disesuaikan agar rata dengan pelat penekan.
- Dial gauge diatur pada posisi nol.
- Ketika jarum hitam pada alat pengukur gaya mulai bergerak meninggalkan titik nol, pembebanan aksial dimulai dan stopwatch dihidupkan.
- Deformasi aksial dan lateral dicatat saat jarum hitam pada alat pengukur gaya berada tepat di nilai-nilai tertentu. Pada penelitian ini digunakan skala pencatatan setiap 2 kN.



Gambar-7. Penempatan contoh pada uji kuat tekan uniaksial

HASIL DAN DISKUSI

Sifat fisik batulempung diperoleh dari 4 kali percobaan dan tercantum pada Tabel-2.

Tabel-2. Sifat fisik batulanau

Parameter	Pengujian ke				
	1	2	3	4	Rata-Rata
Berat Asli (Wn), gr	101.67	111.12	112.06	111.02	108.97
Berat Jenuh (Ws), gr	102.05	111.70	127.03	120.36	115.29
Berat jenuh Tergantung (Ww), gr	51.10	56.93	65.43	70.06	60.88
Berat Kering (Wo), gr	100.14	109.25	110.59	109.29	107.32
Densitas Natural (Pn), gr/cm ³	2.00	2.03	1.82	2.21	2.00
Densitas Kering (Pd), gram/cm ³	1.97	1.99	1.80	2.17	1.97
Densitas Jenuh (Ps), gram/cm ³	2.00	2.04	2.06	2.39	2.12
Berat Jenis Semu	1.97	1.99	1.80	2.17	1.97
Berat Jenis Sebenarnya	2.04	2.09	2.45	2.79	2.31
Kandungan air (w), %	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Derajat Kejenruhan (S), %	0.80	0.76	0.09	0.16	0.21
Porositas (n), %	0.04	0.04	0.27	0.22	0.15
Angka Pori e	0.04	0.05	0.36	0.28	0.17

Kuat tekan uniaksial (UCS) batulempung diperoleh dari 3 kali percobaan dan tercantum pada Tabel-3. Ada beberapa data yang kosong karena contoh retak pada saat pemotongan sehingga dimensi contoh tidak sesuai dengan rencana pengujian. Penambahan contoh tidak memungkinkan karena keterbatasan bongkah sampel yang tersedia.

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa semakin besar rasio H/W, kuat tekan uniaksial (UCS) semakin tinggi (amati Gambar-7). Setelah dilakukan regresi, diperoleh persamaan garis linear kuat tekan uniaksial = 9.55 (rasio H/W) + 3.55, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.32$. Nilai UCS sangat menyebar dengan tingkat dispersi lebih besar pada H/W=1 dibanding H/W = 1/2. Ekspektasi sementara ialah kecenderungan distribusi data mengikuti garis linier ini hanya sampai nilai rasio

H/W tertentu. Setelah melewati titik optimum, akan terjadi penurunan kuat tekan uniaksial. Oleh karena itu perlu dibuktikan melalui pengujian dengan rasio H/W>1, pada angka berapa titik kulminasi tersebut akan tercapai. Selain itu perlu dibuktikan juga apakah kecenderungan ini berlaku untuk semua jenis batuan.

Variabel terikat berikutnya adalah luas permukaan contoh yang ditekan. Data dibagi menjadi tiga berdasarkan rasio H/W. Pada rasio H/W=1/3 hanya diperoleh 1 data. Data UCS pada rasio H/W=1 sangat terdispersi dan dapat dikatakan antar variabel berkorelasi rendah. Koefisien determinasi hasil regresi logaritma sedikit lebih besar ($R^2=0.27$) dibanding regresi linier (0.12). Maka untuk rasio H/W=1/2 digunakan regresi logaritma pula.

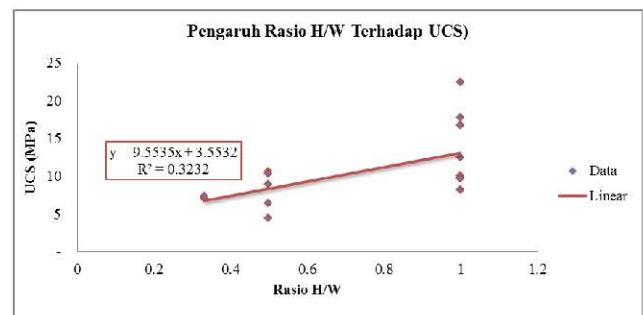
Persamaan untuk contoh dengan H/W=1/2, kuat tekan uniaksial = $-2.91 \ln(\text{luas permukaan}) + 20.52$. Persamaan untuk contoh dengan H/W=1, kuat tekan uniaksial = $-4.41 \ln(\text{luas permukaan}) + 25.72$ dan data yang diperoleh hanya sedikit terdispersi ($R^2=0.87$). Terlihat pada grafik dalam Gambar-8 bahwa pengaruh luas permukaan terhadap UCS cenderung sama pada rentang rasio H/W=1/3

1. Data hasil pengujian dengan H/W=1/2 bersinggungan dengan garis regresi H/W=1, dan demikian sebaliknya. Satu data hasil pengujian H/W=1/3 juga bersinggungan dengan garis regresi H/W=1/2. Ekspektasi sementara adalah penurunan UCS seiring penambahan luas permukaan yang ditekan semakin tidak berpengaruh jika permukaannya semakin luas. Hal ini dapat dibuktikan dengan uji kuat tekan skala besar. Hasil menunjukkan kesesuaian dengan hasil penelitian sebelumnya oleh John (1972) dan Pariseau et. al. (2007).

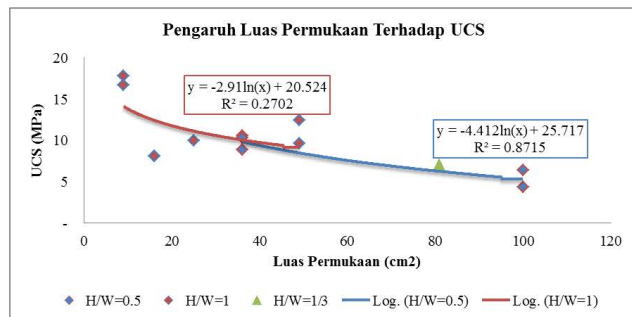
Kriteria yang membatasi variasi dimensi contoh saat ini adalah tinggi ruang contoh pada alat uji kuat tekan dan sumber tenaga mesin tekan. Tantangan untuk penelitian berikutnya mengenai efek bentuk atau skala terhadap kuat tekan uniaksial batuan utuh adalah mencari jenis batuan yang tidak mudah retak saat dipotong sehingga variasi dimensi contoh yang diperoleh sesuai dengan rancangan percobaan.

Tabel-3. Hasil uji kuat tekan uniaksial batulanau

Ukuran (cm)	H	W	Luas (cm ²)	Rasio H/W	Gaya (kN)			UCS (MPa)		
					1	2	3	1	2	3
3	3	9	1	16	15	-	-	17.78	16.67	-
3	6	36	0.5	32	38	37	-	8.89	10.56	10.28
3	9	81	0.33	57	59	-	-	7.04	7.28	-
4	4	16	1	13	13	-	-	8.13	8.13	-
5	5	25	1	25	56	-	-	10.00	22.40	-
5	10	100	0.5	44	64	-	-	4.40	6.40	-
7	7	49	1	47	61	-	-	9.59	12.45	-



Gambar-8. Pengaruh rasio H/W terhadap kuat tekan uniaksial contoh batulanau



Gambar-7. Pengaruh luas permukaan terhadap kuat tekan uniaksial contoh batulanau

KESIMPULAN

Pada rentang nilai $\frac{1}{3}$ - 1, kuat tekan uniaksial batulempung berbanding lurus dengan rasio H/W dan memenuhi persamaan linear kuat tekan uniaksial = 9.55 (rasio H/W) + 3.55. Semakin besar luas permukaan contoh yang ditekan, kuat tekan uniaksial cenderung menurun dan memenuhi persamaan logaritma. Persamaan untuk contoh dengan $H/W=\frac{1}{2}$, kuat tekan uniaksial = $-2.91 \ln(\text{luas permukaan}) + 20.52$. Persamaan untuk contoh dengan $H/W=1$, kuat tekan uniaksial = $-4.41 \ln(\text{luas permukaan}) + 25.72$. Pada batuan sedimen, kehadiran bidang lemah (bidang perlapisan) mempengaruhi kekuatan batuan. Untuk meminimalkan pengaruh itu, semua contoh diusahakan sama arah pemotongannya. Perlu dilakukan pengujian untuk memperoleh data kuat tekan uniaksial pada H/W yang lebih besar dari 1 dan luas permukaan lebih dari 100 cm² sampai grafik UCS melewati titik kulminasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Penelitian, CV pak haji yang memfasilitasi sampel, lab teknologi pertambangan dan tim teknisi lab yang telah membantu dalam pengujian serta fakultas teknik yang memberi dukungan dalam bentuk finansial, dan legalitas terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] John, M., 1972. *The influence of length to diameter ratio on rock properties in uniaxial compression; a contribution to standardisation in rock mechanics testing*. Rep S Afr CSIR No ME1083/5.
- [2] Pariseau, W.G., 2007. *Pillars in Stratified Ground, Design Analysis in Rock Mechanics*. Taylor and Francis. Balkema.
- [3] Rai, M.A., Kramadibrata, S., dan Wattimena, R.K., 2014. *Sifat Fisik dan Mekanik Batuan Utuh, Mekanika Batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung. Bandung. 63-229.