

Analisis Kinerja Baut Batuan dengan Penyemenan Penuh : Menggunakan Metode *Push Out Test*

Achmad SAEPULLOH¹, Irwandy ARIF² dan Ganda M. SIMANGUNSONG³

¹Balai Diklat Tambang Bawah Tanah, Kementerian ESDM, Sawahlunto 27428, Sumatera Barat

^{2,3}Institut Teknologi Bandung, Bandung 40191, Indonesia

ABSTRACT

Sejak ditemukannya baut batuan (*rockbolt*), baut batuan telah banyak digunakan untuk penguatan lapisan/massa batuan, khususnya di industri pertambangan. Penggunaan baut batuan yang menggunakan pengikatan penuh baik dengan resin maupun semen untuk menjaga kestabilan atap dan dinding lubang bukaan tergantung kepada kekuatan ikatan baut batuan dengan batuan. Kekuatan ikatan baut batuan dengan penyemenan penuh terutama adalah gesekan dan tergantung pada tekanan di interface baut batuan-“grout”. Jadi, setiap perubahan dalam tekanan interface harus mempengaruhi kekuatan ikatan.

Untuk mengukur pengaruh tersebut, dilakukan serangkaian uji laboratorium pada sampel beton berbentuk silinder. Adapun untuk pengujian tersebut dilakukan dengan uji dorong (*push out test*) menggunakan mesin tekan hidrolik control servo yang dimodifikasi (biasanya digunakan untuk menguji kekuatan sampel batuan) dimana baut batuan didorong secara aksial kedalam sampel sampai keluar (kebalikannya dari *pull out test*). Pembebanan lateral sebagai *confining pressure* pada sampel diberikan melalui pompa tangan hidrolik yang dikombinasikan dengan piston. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaruh *confining pressure* yang diterapkan sangat mempengaruhi daya dukung beban maksimum sistem pengikatan baut batuan.

Key words : *Rockbolt, bond strength, grout, push out test, confining pressure, load, displacement.*

1. Pendahuluan

Adanya aktivitas penggalian untuk membuat sebuah atau beberapa lubang bukaan di bawah tanah pada massa batuan, maka akan mengakibatkan perubahan distribusi tegangan (*stress distribution*) dan akan muncul kondisi tegangan baru (*induced stress*) yang dialami oleh massa batuan di sekitar lubang bukaan tersebut. Kaiser dkk. (1992) melaporkan bahwa perubahan tegangan akibat kegiatan penambangan adalah salah satu parameter yang paling penting mengendalikan kekuatan ikatan. Begitu juga dengan Aziz & Webb (2003) dimana tingkat gaya gesekan tergantung pada *confining pressure* yang diterapkan.

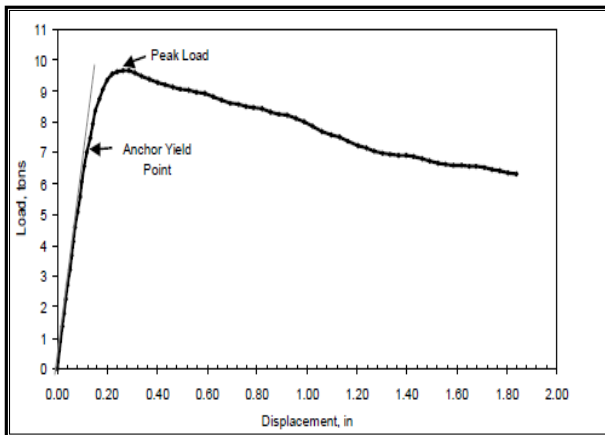
Pada makalah ini penelitian dilakukan untuk menganalisis perubahan kekuatan pengikatan baut batuan terhadap pengaruh tegangan pemampatan (*confining pressure*) yang diterapkan. Variasi *confining pressure* yang diterapkan adalah 3, 5, 7, 9 dan 11 MPa. Penelitian dibatasi pada penentuan daya dukung beban maksimum dari sistem pengikatan baut batuan, dilakukan dengan uji dorong (*push test*) di laboratorium Geomekanika Institut Teknologi Bandung.

2. Parameter Uji Kinerja Pengikatan Baut Batuan Menggunakan Metode *Push Out Test*

Secara umum, *Push Test* dan *Pull Test* digunakan untuk menentukan kualitas enkapsulasi dan transfer beban relatif sepanjang sumbu baut (Villaescusa, 2009). *Push Out Test* adalah metode yang dapat diterima untuk meneliti interaksi *Rock Bolt*/"Grout"/Batuan, dibawah pembebanan aksial (Jalalifar, 2006). *Push Test* diharapkan dapat memberikan respons berbeda dengan *Pull Test*, dimana selama *Push Testing* (Aziz, 2004) *Steel Bar* dikompresi ke dalam sampel, sedangkan pada *Pull Testing*, *Steel Bar* diuji dalam tarikan. Kerugian metode *Push Out Test* (Villaescusa, 2009), hasilnya cenderung *Over estimate* pada kekakuan dan beban puncak / sisa apabila dibandingkan dengan hasil dari *Pull Out Tests*. Akan tetapi apabila *Push Testing* dilakukan untuk panjang *embedment* yang sama, hasilnya dapat digunakan sebagai ukuran "relatif" dari transfer beban sepanjang sumbu baut.

Dari hasil pengujian dengan metode *Push Out Test* akan diperoleh data berupa kombinasi antara beban (*load*) dan perpindahan (*displacement*), selanjutnya dengan data ini untuk setiap

pengujian dibuat kurva *load/displacement* (lihat Gambar 2.1). Kombinasi beban pada baut batuan dan perpindahan-nya dapat digunakan untuk menilai kinerja sistem pengikatan atau penjangkaran baut batuan (Hagan, 2003).



Gambar 2.1. Kurva *load/displacement* (Mark dkk., 2002)

Berdasarkan kurva *load/displacement* dapat ditentukan :

- Beban puncak (*peak load*), kN = beban maksimum yang ditopang oleh sistem, yang merupakan daya tahan puncak sistem pengikatan;
- Perpindahan pada beban puncak (*peak load displacement*), mm = perpindahan sistem pada beban puncak;
- Beban elastis (*elastic load*), kN = beban maksimum yang ditopang oleh sistem sebelum perubahan perilaku sistem dari elastis ke plastis. Transisi ini seringkali sulit untuk secara tepat mengidentifikasinya, sehingga pengukuran ini akurasinya berkurang;
- Perpindahan elastis (*elastic displacement*), mm = perpindahan sistem pada beban elastis;

Selain itu, kurva *load/displacement* juga dapat memberikan indikasi faktor cengkeraman (*grip factor*), tegangan geser puncak (*peak shear stress*) dan kekakuan sistem (*system stiffness*).

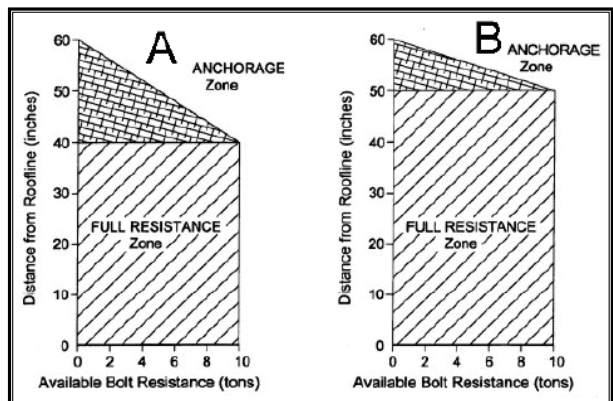
2.1. Faktor Cengkeraman

Pengikatan efektif baut batuan “*grout*” sepenuhnya melalui gesekan dan *mechanical interlocking*. Efektivitas dari *interlocking* diukur melalui *Grip Factor* yang didefinisikan sebagai daya tahan baut untuk ditarik keluar per inci panjang baut (Mark, 2002). Dalam beberapa literatur *Grip Factor* juga biasa disebut *Bond*

Factor atau *Anchorage Factor* yang dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Grip\ Factor = \frac{Beban\ Maksimum\ (ton)}{Panjang\ Pengikatan\ (mm)}$$

Dalam zona penjangkaran/pengikatan (bagian atas baut), ketersediaan daya tahan baut untuk pembebanan dari pergerakan batuan mungkin sangat kurang dari kekuatan luluh (*yield strength*) nominalnya. Akibatnya, baut bisa ditarik keluar dari atap ketika gerakan batuan terjadi di dekat bagian atas baut. Baut batuan dengan *Grip Factor* yang lebih besar akan memiliki ketersediaan daya tahan yang lebih panjang lagi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.B (Mark dkk., 2002). Bahkan, panjang daya tahan penuh “*full resistance length*” (L_{FR} , mm) dari baut “*grout*” sepenuhnya, yang merupakan zona di mana kekuatan yang tersedia untuk menahan gerakan batuan paling tidak sama dengan kekuatan luluh dari baut, adalah total panjang baut (L , mm) dikurangi panjang pengikatan (L_{Anch} , mm). Panjang pengikatan adalah beban luluh baut (Y , ton) dibagi dengan *Grip Factor* (GF).



Gambar 2.2. Pengaruh *Grip Factor* pada Ketersediaan Daya Tahan dari 10-ton Baut Atap untuk Bereaksi terhadap Beban Atap. (A) *Grip Factor* = 0,5 ton/inci ; (B) *Grip Factor* = 1 ton/inci (Mark dkk., 2002)

2.2. Tegangan Geser Puncak

Tegangan geser puncak adalah tegangan geser rata-rata melalui panjang dienkapsulasi pada beban maksimal yang diterapkan (Fabjanczyk and Tarrant, 1992). Dalam beberapa literatur tegangan geser puncak juga biasa disebut *bond strength*, dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\tau = \frac{\Delta F}{\pi \phi L}$$

Dimana :

- τ = tegangan geser, kPa
- ΔF = perubahan dalam gaya melalui panjang enkapsulasi, kN
- A = luas bidang kontak ($\pi \phi L$), m
- L = panjang dari pengikatan/enkapsulasi, m
- ϕ = diameter baut batuan atau lubang bor, m

2.3. Kekakuan Sistem

Berdasarkan referensi, ada beberapa definisi mengenai kekakuan sistem (*system stiffness*), diantaranya adalah :

- Mucho, dkk. (1999) :
 - ✓ Kekakuan penyangga (*support stiffness*) adalah ukuran seberapa cepat sebuah penyangga mengembangkan daya dukung beban dalam hubungannya dengan konvergensi. Untuk penyangga individu, kekakuan dapat ditentukan dari kemiringan kurva kinerja beban-deformasi.
 - ✓ Penyangga "lembut" ("*softer*" *supports*) memiliki kemiringan datar daripada penyangga "kaku" ("*stiffer*" *supports*) ketika digambarkan dengan skala beban-perpindahan yang sama. "*Softer*" *supports* membutuhkan lebih konvergensi untuk mengembangkan daya dukung beban setara daripada "*stiffer*" *supports*.
 - ✓ Kekakuan sistem penyangga (*support system stiffness*) adalah daya tahan untuk beban dari kelompok penyanggaan.
- Aziz & Webb (2003), kekakuan sistem adalah kemiringan dari beban maksimum yang didukung/ditopang oleh baut untuk perpindahan pada beban maksimum sebuah baut dilapisi.
- *Health and Safety Executive* (2006), kekakuan sistem adalah kemiringan karakteristik beban / perpindahan antara beban minimum dan maksimum yang ditetapkan, misalnya 40 dan 80 kN. Beban maksimum dan minimum untuk perhitungan kekakuan biasanya dipilih menjadi sekitar sepertiga dan dua pertiga kekuatan ikatan tingkat penerimaan (*acceptance level*).

Kekakuan sistem (K), dapat ditentukan dengan persamaan :

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta \mu}$$

Dimana :

- ΔF = perubahan dalam gaya, kN
- $\Delta \mu$ = perubahan dalam perpindahan, mm

3. Pengujian Laboratorium

Filosofi dari pengujian dengan metoda *push out test* pada penelitian ini hampir mirip dengan pengujian triaksial. Dimana pada *push out test* baut batuan yang tertanam dalam beton silinder diberi tegangan pemampatan dan didorong atau dibebani secara aksial sampai baut batuan tersebut ke luar. Adapun pengujian tersebut dilakukan menggunakan mesin tekan hidrolik kontrol servo yang dimodifikasi (biasanya digunakan untuk menguji kekuatan contoh batuan).

3.1. Sampel Uji

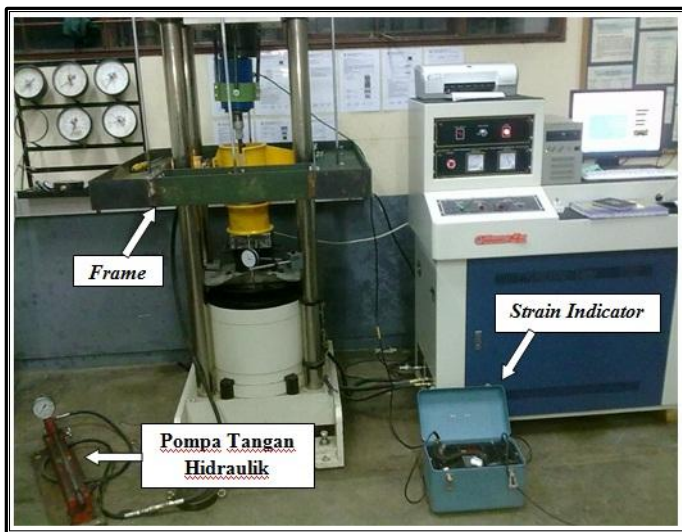
Contoh uji yang dijadikan bahan penelitian adalah material buatan berupa beton berbentuk silinder, panjang 200 mm dan diameter 153 mm yang mempunyai kuat tekan uniaksial 10 MPa. Pada saat proses pembuatannya, contoh beton diberi rongga buatan menggunakan paralon (PVC) yang mempunyai diameter 26 mm. Rongga buatan ini merupakan bentuk imitasi dari lubang bor yang berfungsi untuk mengikatkan baut batuan dengan beton silinder setelah dikeringkan selama 28 hari. Apabila contoh sudah siap, maka "*grout*" semen dicampurkan terlebih dahulu dengan air dengan perbandingan 1 : 3,8 (w/c), selanjutnya "*grout*" semen di masukan ke dalam lubang bor pada beton silinder yang sudah terpasang baut batuan. "*Grout*" semen dibiarkan mengering selama 3 hari dengan baut batuan dan contoh berdiri vertikal. Panjang keseluruhan baut batuan dalam pengujian ini yaitu 300 mm dengan diameter 20 mm, sehingga memberikan ketebalan anulus 3 mm terhadap diameter lubang bor yang ada pada beton silinder. Sedangkan, panjang baut batuan yang tertanam dalam beton silinder adalah 200 mm. Baut batuan yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *thread bar*.

Jumlah contoh beton silinder yang dibuat untuk pengujian yaitu 5 buah untuk masing-masing besaran tegangan pemampatan (*confining pressure*), sehingga total yang dibuat adalah 25 buah. "*Grout*" adalah semen *Portland* yang pada penelitian ini pencampurannya dengan air dilakukan secara manual (tanpa menggunakan mesin pencampur) mempunyai kuat tekan uniaksial 17 MPa.

3.2. Fasilitas Uji

Alat utama yang digunakan untuk *Push Out Test* dalam penelitian ini adalah mesin tekan hidrolik dengan kontrol servo HungTa seri HT-8391 (lihat Gambar 3.1). Agar penelitian ini tercapai hasil yang optimal dan sesuai yang diharapkan, maka dilakukan modifikasi alat dengan penambahan, seperti :

- 1) Rangka besi (*frame*, lihat Gambar 3.1) untuk dudukan piston dan *metal jacket*;
- 2) *Metal jacket* (lihat Gambar 3.2) yang berfungsi sebagai pengungkung contoh beton silinder (*confining pressure*);
- 3) *Spherical seat* (lihat Gambar 3.2), berfungsi untuk memasang ujung baut batuan bagian atas yang tidak tertanam dalam beton silinder agar tidak bersentuhan langsung dengan *load cell*;
- 4) Besi pejal berongga (lihat Gambar 3.3) untuk menahan contoh beton silinder dari bawah pada saat di tekan dan lubang yang ada untuk menyediakan ruang bagi baut batuan pada saat keluar dari contoh karena dorongan (*push test*).

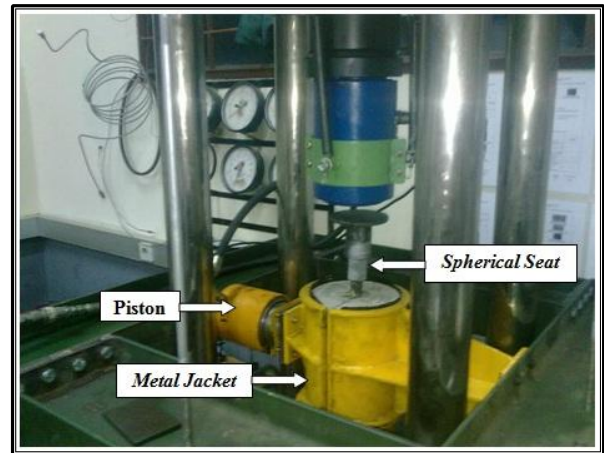


Gambar 3.1. Rangkaian Peralatan *Push Out Test*

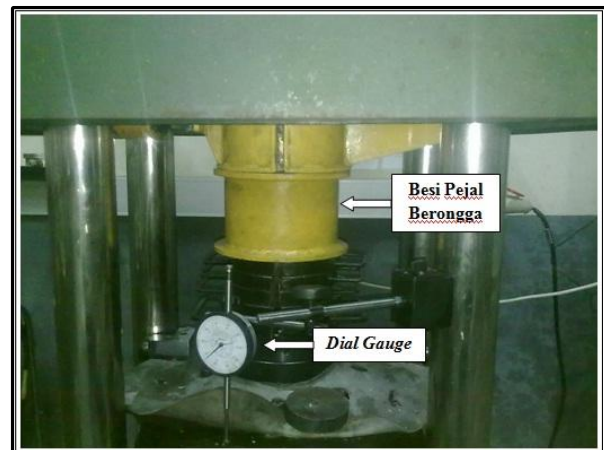
Adapun alat pendukung lainnya dalam *Push Out Test* ini adalah :

- 1) Piston (lihat Gambar 3.2) dan pompa tangan hidrolik (lihat Gambar 3.1) untuk memberikan tekanan arah horizontal (pembebanan lateral) pada *metal jacket* sebagai *confining pressure*;
- 2) *Dial gauge*, untuk mengukur perpindahan aksial dari baut batuan (lihat Gambar 3.3);

- 3) *Strain Indicator* (lihat Gambar 3.1), berfungsi untuk membaca gaya di dalam pengujian ini, setelah dikalikan dengan hasil kalibrasi dari *load cell* berupa persamaan regresi linier.



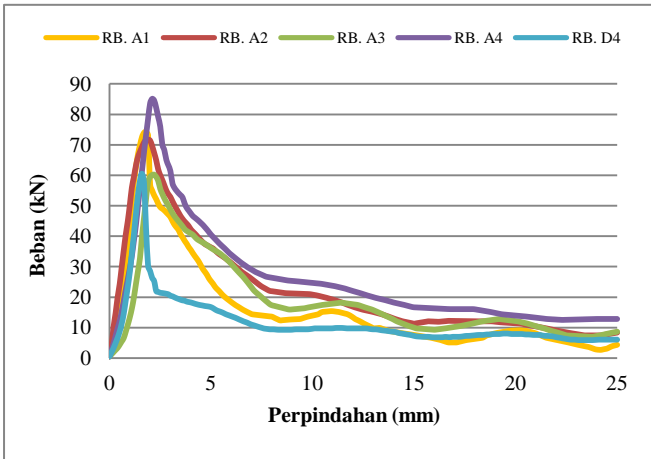
Gambar 3.2. Aplikasi *Confining Pressure* Pada Contoh Beton Silinder



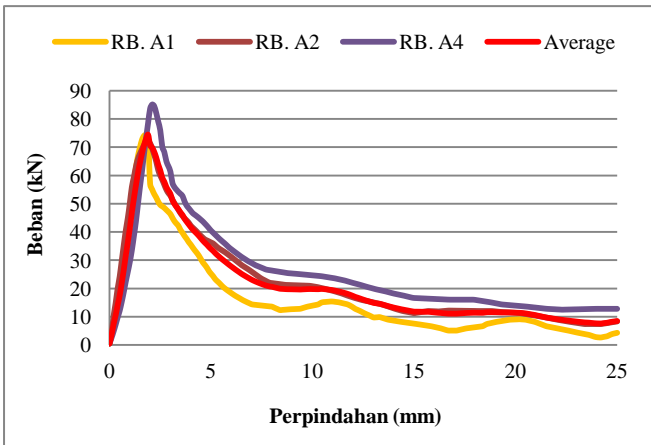
Gambar 3.3. Posisi Besi Pejal Berongga & *Dial Gauge*

3.3. Hasil Pengujian

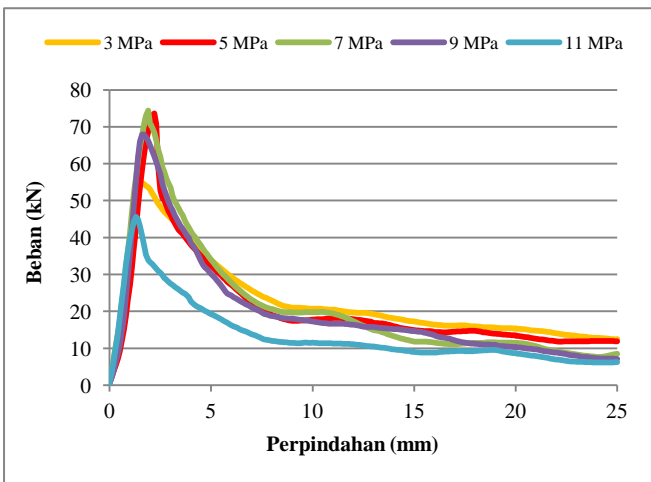
Dari pengujian 5 buah contoh uji untuk satu parameter diharapkan hasilnya pada kondisi yang identik dilihat dari bentuk kurva beban / perpindahan. Dalam penelitian ini dipilih 3 yang terbaik dari 5 kali pengujian, hal yang sama dilakukan para peneliti sebelumnya (Bigby & Reynolds 2005, Satola 2007, Martin dkk. 2011). Gambar 3.4., menunjukkan perilaku pengulangan yang sangat baik dan konsisten, tampak terlihat dari bentuk kurva untuk contoh RB. A1, RB. A2 dan RB. A4. Variasi beban puncak ke tiga contoh tersebut kurang dari 16%, namun perilaku kekakuan, *post-failure* dan beban residual sangat konsisten, sehingga representatif untuk hasil pengujian dengan tegangan pemampatan 7 MPa.



Gambar 3.4. Kurva Beban / Perpindahan untuk Tegangan Pemampatan 7 MPa



Gambar 3.5. Rata-Rata Kurva Beban / Perpindahan untuk Tegangan Pemampatan 7 MPa



Gambar 3.6. Perbandingan Rata-Rata Kurva Beban / Perpindahan untuk setiap Tegangan Pemampatan

Gambar 3.5., menunjukkan kurva rata-rata tiga contoh yang dipilih dari 5 kali hasil pengujian untuk tegangan pemampatan 7 MPa.

Perilaku elastis, pasca kegagalan dan beban *residual* terlihat dari perbandingan kurva (Gambar 3.6.) kecenderungannya memberikan bentuk kurva yang hampir sama. Namun, hal lain yang bisa dilihat dari kurva perbandingan ini adalah beban puncak bervariasi untuk setiap tegangan pemampatan. Untuk tegangan pemampatan 5 dan 7 MPa memberikan hasil yang hampir identik pada kurva beban/perpindahan. Beban puncak hampir berdekatan disekitar 74 kN untuk setiap besaran tegangan pemampatan tersebut (5 dan 7 MPa). Kemiringan kurva pada daerah elastis untuk tegangan pemampatan 5 MPa sedikit bergeser ke kanan, hal ini karena perpindahan pada beban puncak lebih besar di bandingkan yg lain yaitu sebesar 2,2 mm, data yang lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 3.1.

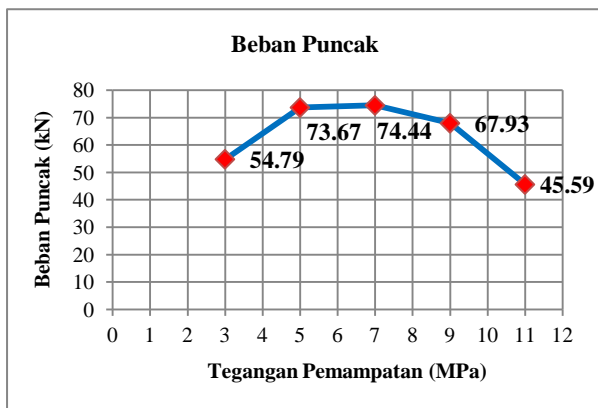
4. Pengaruh Tegangan Pemampatan Terhadap Kinerja Pengikatan Baut Batuan

Beban puncak yang merupakan daya tahan puncak sistem pengikatan pada baut batuan dari hasil pengujian menunjukkan hubungan non linier dengan meningkatnya tegangan pemampatan. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 3.7., semakin meningkat tegangan pemampatan yang diberikan semakin menurun daya tahan puncak sistem pengikatan. Meningkatnya tegangan pemampatan yang diikuti dengan meningkatnya beban puncak yang cukup signifikan terjadi pada tegangan pemampatan dari 3 MPa ke 5 MPa sekitar 25%. Namun, peningkatan beban puncak dari tegangan pemampatan 5 MPa ke 7 MPa tidak begitu signifikan (hanya 1%), sehingga bisa dikatakan beban puncak yang dicapai pada tegangan pemampatan ini nilainya hampir sama. Beban puncak pada tegangan pemampatan 5 MPa dan 7 MPa adalah beban puncak maksimum yang dicapai dari hasil pengujian ini yaitu sekitar 74 kN.

Menurunnya beban puncak dengan meningkatnya tegangan pemampatan terjadi pada rentang antara 7 MPa sampai 11 MPa. Beban puncak pada tegangan pemampatan 7 MPa ke 9 MPa menurun sekitar 8%, sedangkan beban puncak pada tegangan pemampatan 9 MPa ke 11 MPa menurun sekitar 32%.

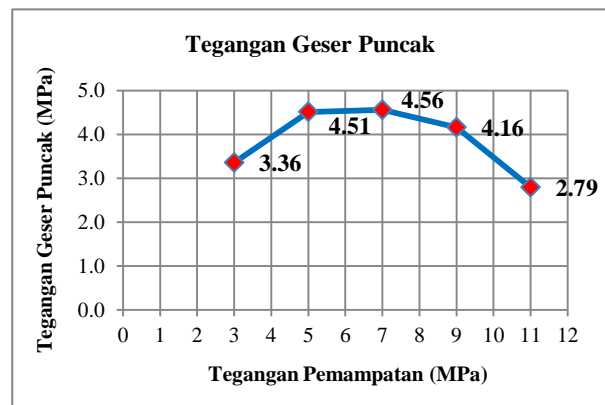
Tabel 3.1.. Ringkasan Data Hasil Pengujian untuk setiap Tegangan Pemampatan

	Satuan	Tegangan Pemampatan (MPa)				
		3	5	7	9	11
Beban Puncak	kN	54,79	73,67	74,44	67,93	45,59
Perpindahan pada Beban Puncak	mm	1,6	2,2	1,9	1,6	1,3
Faktor Cengkeraman	ton/mm	0,0274	0,0368	0,0372	0,0340	0,0228
Tegangan Geser Puncak	MPa	3,36	4,51	4,56	4,16	2,79
Kekakuan Sistem (<i>peak</i>)	kN/mm	34,24	33,49	39,18	42,46	35,07
Kekakuan Sistem (<i>post - faillure</i>)	kN/mm	-4,56	-8,27	-8,83	-7,69	-0,68
Kekakuan Sistem (<i>residual</i>)	kN/mm	-0,53	-0,35	-0,71	-5,01	-0,34
Beban pada Perpindahan 25 mm	kN	12,49	11,87	8,48	7,10	6,23

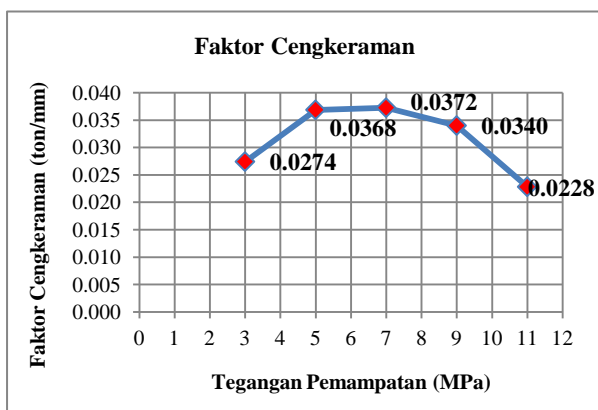


Gambar 3.7. Kurva Pengaruh Tegangan Pemampatan terhadap Beban Puncak

Hal yang sama juga terjadi pada faktor cengkeraman dan tegangan geser puncak (lihat Gambar 3.8. dan 3.9).



Gambar 3.9. Kurva Pengaruh Tegangan Pemampatan terhadap Tegangan Geser Puncak

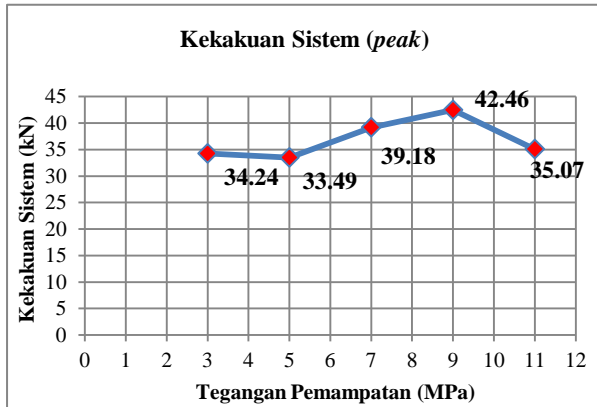


Gambar 3.8. Kurva Pengaruh Tegangan Pemampatan terhadap Faktor Cengkeraman

Kondisi yang berbeda terjadi pada pola kurva kekakuan sistem apabila dibandingkan dengan pola kurva pada beban puncak. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 3.10., pengaruh perubahan tegangan pemampatan terhadap kekakuan sistem menunjukkan pola tertentu atau acak. Meningkatnya tegangan pemampatan yang diikuti dengan meningkatnya kekakuan sistem terjadi pada tegangan pemampatan antara 5 MPa sampai 9 MPa. Kekakuan sistem pada tegangan pemampatan 5 MPa ke 7 MPa meningkat sekitar 14%, sedangkan pada tegangan pemampatan 7 MPa ke 9 MPa meningkat sekitar 7%.

Menurunnya kekakuan sistem dengan meningkatnya tegangan pemampatan terjadi pada

tegangan pemampatan 3 MPa ke 5 MPa dan pada tegangan pemampatan 9 MPa ke 11 MPa. Kekakuan sistem pada tegangan pemampatan 3 MPa ke 5 MPa menurun sekitar 2%, sedangkan pada tegangan pemampatan 9 MPa ke 11 MPa menurun sekitar 17%.



Gambar 3.10. Kurva Pengaruh Tegangan Pemampatan terhadap Kekakuan Sistem (*peak*)

5. Analisis Hasil

Pada penelitian ini peningkatan tegangan pemampatan menunjukkan hubungan non linier dengan kekuatan ikatan baut batuan. Hal yang sama juga dilakukan oleh Moosavi dkk. (2005), dimana hasil penelitiannya menunjukkan hubungan non linier antara peningkatan kapasitas ikatan dan tegangan pemampatan.

Hal yang menjadi sangat penting dari hasil pengujian ini adalah bahwa meningkatnya tegangan pemampatan dari 5 MPa ke 7 MPa tidak begitu berpengaruh signifikan terhadap peningkatan beban puncak. Sehingga pada pengujian ini yang dilakukan pada beton silinder (UCS = 10 MPa), meningkatnya tegangan pemampatan yang diikuti dengan meningkatnya beban puncak dibatasi pada tegangan pemampatan 7 MPa. Dengan kata lain, beban puncak maksimum dicapai pada aplikasi tegangan pemampatan sebesar 70 % dari UCS batuan. Sehubungan keterbatasan data pada penelitian ini, maka penelitian lebih lanjut pada variasi kekuatan batuan diperlukan untuk memverifikasi dan lebih menegaskan lagi pernyataan tersebut.

Menurunnya beban puncak yang terjadi pada tegangan pemampatan 9 MPa masih lebih besar nilainya apabila dibandingkan dengan beban puncak yang terjadi pada tegangan pemampatan 3 MPa. Beban puncak pada tegangan pemampatan

3 MPa sekitar 74% dan pada tegangan pemampatan 9 MPa sekitar 92% dari beban puncak maksimum yang dicapai pada penelitian ini. Artinya, pengaruh meningkatnya tegangan pemampatan sampai ke nilai mendekati pada kekuatan batuan, masih memberikan kekuatan ikatan baut batuan yang cukup besar apabila dibandingkan pada tegangan pemampatan terkecil yang diaplikasikan pada penelitian ini.

Pada tegangan pemampatan 11 MPa, beban puncak menurun drastis sekitar 32% dari beban puncak yang dicapai pada tegangan pemampatan 9 MPa atau sekitar 39% dari beban puncak maksimum yang dicapai pada penelitian ini. Menurunnya beban puncak pada tegangan pemampatan 11 MPa adalah karena penerapan tegangan pemampatan melebihi kekuatan beton silinder (UCS = 10 MPa). Beton silinder mengalami retakan yang cukup besar pada tegangan pemampatan 11 MPa, sehingga pengaruh pengungkungan beton terhadap anulus “*grout*” berkurang begitupun pengaruh tegangan pemampatan terhadap anulus “*grout*” sangat berkurang karena tegangan pemampatan tidak tertransfer dengan baik. Kemungkinan yang terjadi dengan retaknya beton bisa saja dimulai pada saat penerapan tegangan pemampatan sebelum proses uji dorong dilakukan. Hal yang mungkin perlu dicermati dan diverifikasi lagi pada penelitian-penelitian selanjutnya.

6. KESIMPULAN

Tegangan pemampatan yang diterapkan sangat mempengaruhi daya dukung beban maksimum sistem pengikatan baut batuan. Pengaruh tegangan pemampatan yang dapat memberikan kekuatan ikatan maksimum baut batuan dicapai pada aplikasi tegangan pemampatan sebesar 70% dari UCS batuan pengungkungnya.

Meningkatnya tegangan pemampatan sampai ke nilai mendekati pada kekuatan batuan pengungkung baut batuan menyebabkan penurunan kekuatan ikatan, tetapi masih memberikan kekuatan ikatan baut batuan yang cukup besar apabila dibandingkan pada tegangan pemampatan terkecil yang diaplikasikan pada penelitian ini

7. ACKNOWLEDGEMENT

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Irwandy Arif dan Dr. Ganda M. Simangunsong yang sudah memberikan bimbingan, dorongan dan semangat kepada penulis, hingga selesainya tesis dan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para pegawai/teknisi di Lab. Geomekanika, Dept. Teknik Pertambangan ITB atas bantuannya.

REFERENCES

- Aziz, N. & Webb, B., "Study of Load Transfer Capacity of Bolts Using Short Encapsulation Push Test", Coal Operators Conference, University of Wollongong & Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2003, pp 72 -80.
- Bigby, C., dkk., "Anchorage Pull Testing For Fully Grouted Roof Bolt", Proceedings, 21st International Ground Control in Mining Conference, Morgantown, WV, August 6-8, 2002, pp. 105-113
- Hagan, PC., "The Effect Of Resin Annulus on Anchorage Performance of Fully Encapsulated Rockbolts", The University of New South Wales (UNSW), Sydney, ISRM, 2003.
- Jalalifar, H., "A New Approach in Determining The Load Transfer Mechanism in Fully Grouted Bolts", PhD Thesis, School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University Of Wollongong, 2006.
- Kaiser, P.K., Yazici, S. and Nose, J., "Effect of Stress Change on The Bond Strength of Fully Grouted Cables, Int. J. Of Rock Mechanics and Min. Sci. & Geomech. Abstrs., Vol. 29/No. 3, 1992, pp. 293-306.
- Mark, C. dkk., "Anchorage Pull Testing For Fully Grouted Roof Bolt", Proceedings, 21st International Ground Control in Mining Conference, Morgantown, WV, August 6-8, 2002, pp. 105-113.
- Moosavi, M., dkk., "Bond of Cement Grouted Reinforcing Bar Under Constant Radial Pressure", Cement and Concrete Composite, 2005 WV, August 6-8, 2002, pp. 105-113.
- Satola, I. dkk., "Anchorage Pull Testing For Fully Grouted Roof Bolt", Proceedings, 21st International Ground Control in Mining Conference, Morgantown, WV, August 6-8, 2002, pp. 105-113.