
Penentuan Parameter Rangkak pada Bentonit sebagai Bahan Penyangga (*Buffer Material*) dengan Uji Geser Langsung

Arintha I.D. Syafiarti¹, Huang Wei-Hsing², Chung Chih-Chung³

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia

^{2,3}Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan

E-mail: arinthatasyafiarti@gmail.com, t321655@ncu.edu.tw, chung.chih.chung@gmail.com

Received 15 Mei 2019; Reviewed 17 Mei 2019; Accepted 24 Juni 2019

<http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

A preliminary research to investigate the creep behavior of bentonite as buffer material in a high-level nuclear or radioactive waste disposal hole as bentonite needs to maintain the stability of the waste canister for a long time, to avoid the displacement caused by the weight of the canister itself and the thermal, hydrological, mechanical and chemical (THM-C) processes of the near filed. The increase of bentonite time-dependent strain or creep needs to be taken into account for the safety of the disposal hole. The creep parameters obtained from the angular strain rate equation, through stress-controlled direct shear test using compacted SPV200 bentonite samples. The test results show an increase in angular strain rate with increasing of the applied stress.

Keywords: bentonite, creep, direct shear test, angular strain rate, stress

Abstrak

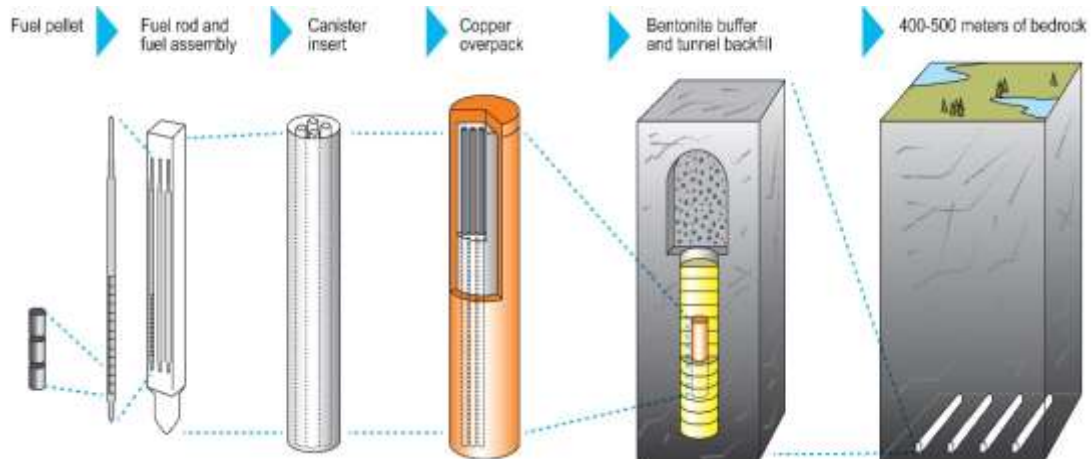
Penelitian pendahuluan untuk menentukan sifat rangkak bentonit sebagai bahan penyangga (buffer material) pada sistem penyimpanan limbah nuklir atau radioaktif aktivitas tinggi dimana bentonit harus mampu menjaga kestabilan canister (tabung limbah) untuk waktu yang lama agar tidak terjadi penurunan yang dipengaruhi oleh berat canister itu sendiri maupun proses termal, hidrologi, mekanik dan kimia (THM-C) dari lingkungan sekitarnya. Penambahan regangan bentonit seiring dengan berjalannya waktu atau rangkak perlu diperhitungkan untuk keamanan tempat penyimpanan limbah. Perhitungan parameter rangkak ditentukan berdasarkan persamaan laju regangan bersudut, melalui uji geser langsung dengan tegangan yang terkontrol menggunakan benda uji bentonit SPV200 yang dipadatkan. Hasil uji menunjukkan peningkatan laju regangan sudut dengan penambahan tegangan.

Kata kunci: bentonit, rangkak, uji geser langsung, laju regangan bersudut, tegangan

1. Pendahuluan

Keamanan dari tempat penyimpanan limbah nuklir adalah masalah terkait lingkungan bagi negara-negara yang menjalankan reaktor nuklir. Limbah nuklir aktivitas tinggi harus diisolasi dari aktivitas manusia agar tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan, sehingga banyak negara memilih untuk menyimpan limbah tersebut di dalam batuan induk yang terletak pada 250 m hingga 500 m dari permukaan tanah (Freiesleben, 2013).. Konsep tempat penyimpanan limbah berdasarkan

Manajemen Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Swedia (SKB) diilustrasikan dalam Gambar 1, dengan menggunakan bentonit sebagai bahan penyangga *canister* dari limbah nuklir (SKB, 2006).



Gambar 1. Konsep desain untuk penyimpanan limbah nuklir tingkat tinggi

Bentonit akan mendapatkan pengaruh dari proses termal, hidrologi, mekanik dan kimia (THM-C) dari lingkungan sekitarnya (Manepally et.al, 2011). Rangkaian yang merupakan pengaruh dari proses hidrologi dan mekanik, akan dialami oleh bentonit yang menahan *canister* di tempat penyimpanan limbah nuklir aktivitas tinggi, baik dalam kondisi kering maupun dialiri air dikarenakan beban berat yang diberikan *canister*, menyebabkan *canister* akan mengalami penurunan (Pusch & Adey, 1999). Karakteristik rangkaian bentonit dapat dilihat dari beberapa parameter rangkaian berdasarkan persamaan laju regangan bersudut (Pusch et.al, 1987). Parameter rangkaian yang ditentukan dalam penelitian ini akan digunakan sebagai masukan untuk memperkirakan besarnya penurunan bentonit di dalam tempat penyimpanan limbah setelah 100,000 tahun atau lebih.

Regangan akibat rangkaian bentonit MX-80 dapat diperoleh dari uji geser langsung (Pusch et.al, 1987; Borgesson et.al, 1988) atau uji triaksial (Borgesson et.al, 1988), dimana hasilnya akan digunakan untuk mendapatkan persamaan laju regangan bersudut yang merupakan turunan pertama dari regangan bersudut seperti pada Persamaan (1),

$$\dot{\gamma} = Ae^{\alpha D_r} (t + t_0)^{-n} \quad (1)$$

dimana,

- $\dot{\gamma}$ = laju regangan bersudut rata-rata
- A = parameter rangkaian, ekstrapolasi dari kurva hubungan antara $\dot{\gamma}_0$ dan D_r
- α = parameter rangkaian, kemiringan dari kurva hubungan antara $\dot{\gamma}_0$ dan D_r
- t_0 = waktu dimulainya rangkaian
- n = parameter rangkaian, eksponen waktu
- $\dot{\gamma}_0$ = laju regangan pada setiap kenaikan tegangan geser
- D_r = tingkat kenaikan tegangan geser

2. Metode Penelitian

Penentuan urutan tegangan untuk uji geser langsung dengan tegangan terkontrol didasarkan pada hasil dari kuat geser maksimum yang diperoleh dari uji geser langsung dengan cara konvensional

menggunakan alat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan menggunakan benda uji bentonite jenis SPV200 (*Volclay Bentonite*) dengan variasi kadar air sebesar 11% (kadar air alami), 20%, dan 29% (kadar air jenuh). Persiapan benda uji dilakukan dengan memasukkan bentonit SPV200 yang berbutir halus ke dalam kotak uji dengan diameter 6 cm dan tebal 2 cm yang diletakkan di antara kertas saring dan batu porous kemudian dipadatkan menggunakan mesin tekan hidrolik. Selama pengujian, benda uji menerima tegangan normal sebesar 1.600 kPa yang merespresentasikan berat *canister* di dalam tempat penyimpanan limbah nuklir. Pemampatan akibat tegangan normal dianggap selesai ketika perpindahan vertikal tidak lebih dari 0,01 mm dalam waktu satu jam. Laju geser dari pengujian sebesar 0,15 mm/menit dan pengujian dapat diakhiri ketika perpindahan horizontal benda uji mencapai 3 mm (5% dari diameter benda uji). Perpindahan horizontal, perpindahan vertikal dan tegangan geser dicatat setiap 15 detik hingga akhir pengujian.



Gambar 2. Alat uji geser langsung konvensional



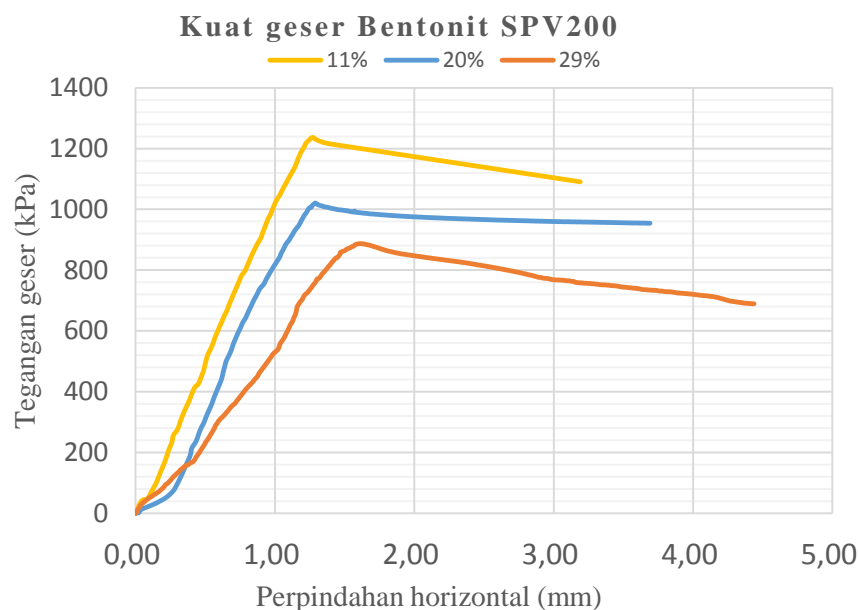
Gambar 3. Alat uji geser langsung dengan tegangan terkontrol

Alat uji geser langsung dengan perangkat pneumatik untuk mengontrol tegangan geser seperti pada Gambar 2 digunakan untuk memperoleh data regangan bersudut dari bentonit. Pengujian menggunakan pembebanan ganda bertahap dimulai dari $0.2\tau_f$, $0.4\tau_f$, $0.6\tau_f$, and $0.8\tau_f$, dimana τ_f adalah kuat geser maksimum. Selama pengujian, benda uji menerima tegangan normal sebesar 1.600 kPa dan tegangan geser selalu dijaga agar konstan pada setiap tahapannya. Pengujian dilakukan terhadap benda uji bentonit dengan kadar air 29% hingga mencapai laju regangan bersudut yang terpantau saat pengujian kurang dari 10^{-8} /detik. Perpindahan horizontal dan waktu pengujian dicatat selama pengujian untuk kemudian dapat digunakan untuk menghitung parameter rangkai A , α , dan n berdasarkan Persamaan (1).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kuat Geser Bentonit SPV200

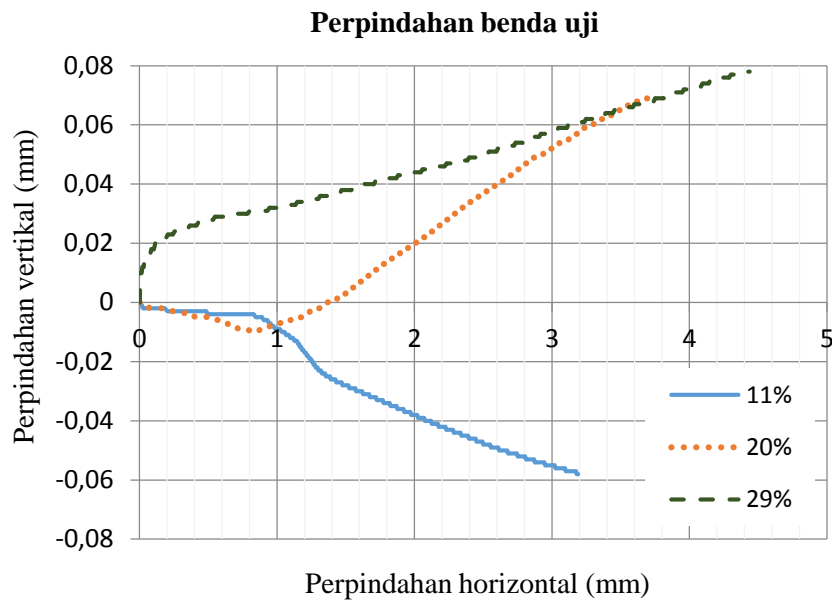
Hasil percobaan menunjukkan bahwa kuat geser bentonit SPV200 berkurang dengan meningkatnya kadar air pada Gambar 4. Perpindahan horisontal pada kekuatan puncak semakin besar dengan meningkatnya kadar air.



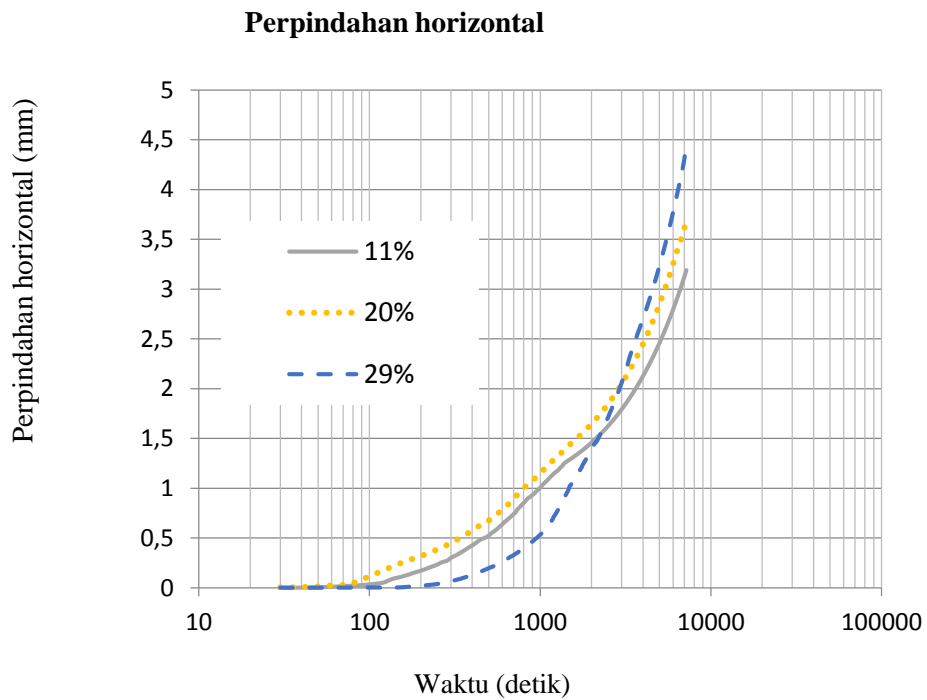
Gambar 4. Grafik hubungan antara perpindahan horizontal dan kuat geser bentonit SPV200

Gambar 5 menunjukkan perpindahan vertikal benda uji ketika proses uji geser. Tinggi benda uji dengan kadar air rendah cenderung berkurang atau memampat. Sebaliknya, benda uji terus membengkak (swelling) selama proses uji geser berlangsung.

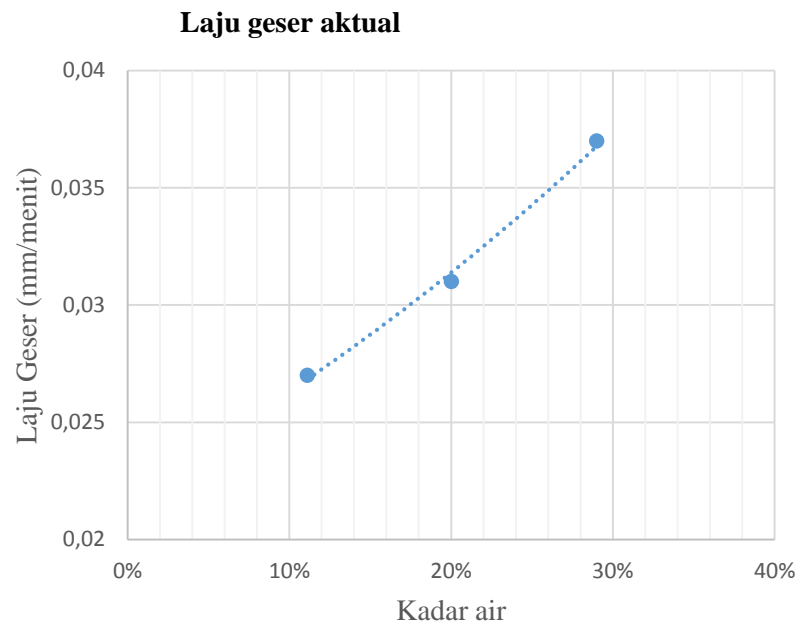
Pada Gambar 6, regangan menjadi konstan sebelum syarat penghentian proses geser terpenuhi. Laju geser diatur pada 0,15 mm/menit yang merupakan kapasitas minimum dari alat uji geser langsung menghasilkan regangan stabil. Dari Gambar7 terlihat laju geser aktual yang diterapkan menjadi lebih kecil rata-rata 20% dari 0,15 mm/menit, menunjukkan bahwa laju geser tidak konstan dari awal sampai akhir pengujian.



Gambar 5. Grafik perpindahan benda uji secara horizontal dan vertikal, dengan berat jenis $1,6 \text{ g/cm}^3$ dan kadar air bervariasi.



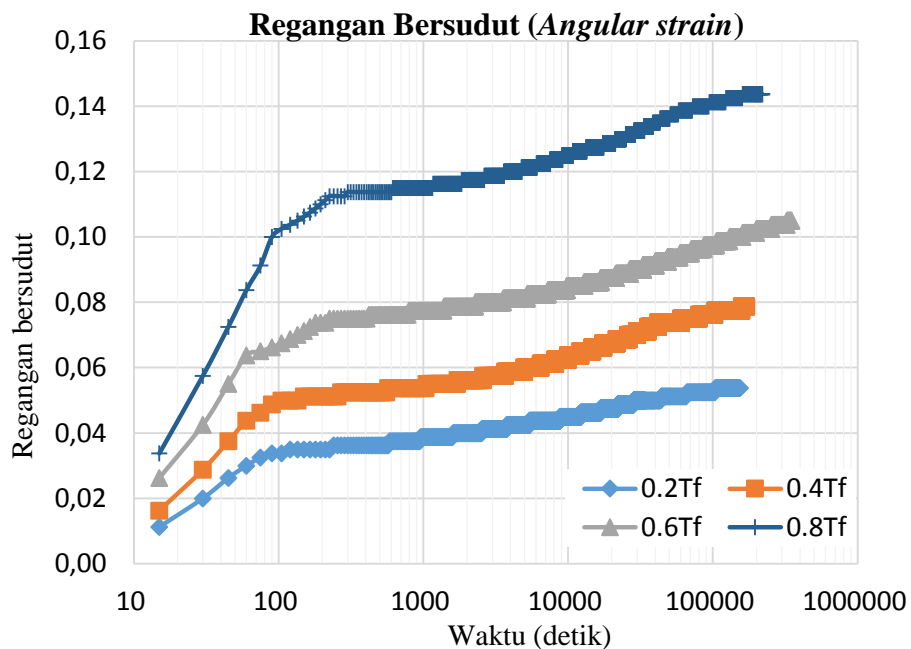
Gambar 6. Perpindahan horizontal benda uji bentonite selama proses uji geser langsung konvensional



Gambar 7. Laju geser aktual rata-rata selama proses uji geser langsung

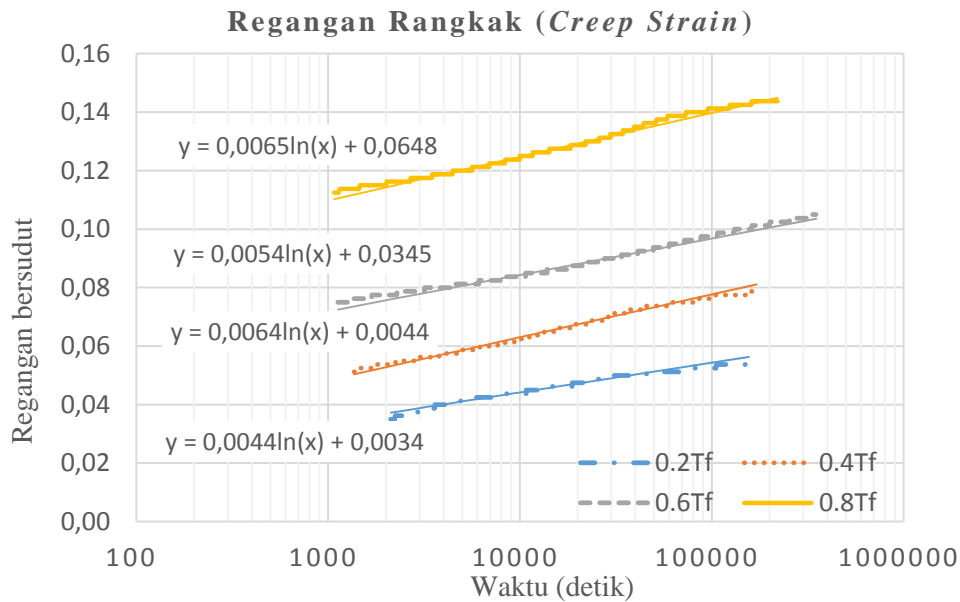
3.2 Penentuan Parameter Rangkak Bentonit SPV200

Dari hasil kuat geser tersebut, dapat dirumuskan urutan pembebanan geser pada uji geser langsung dengan tegangan geser yang terkontrol. Hasil perpindahan horizontal saat pengamatan dikoreksi nilainya menjadi regangan bersudut yang kemudian digambarkan hubungannya dengan waktu seperti pada Gambar 8.



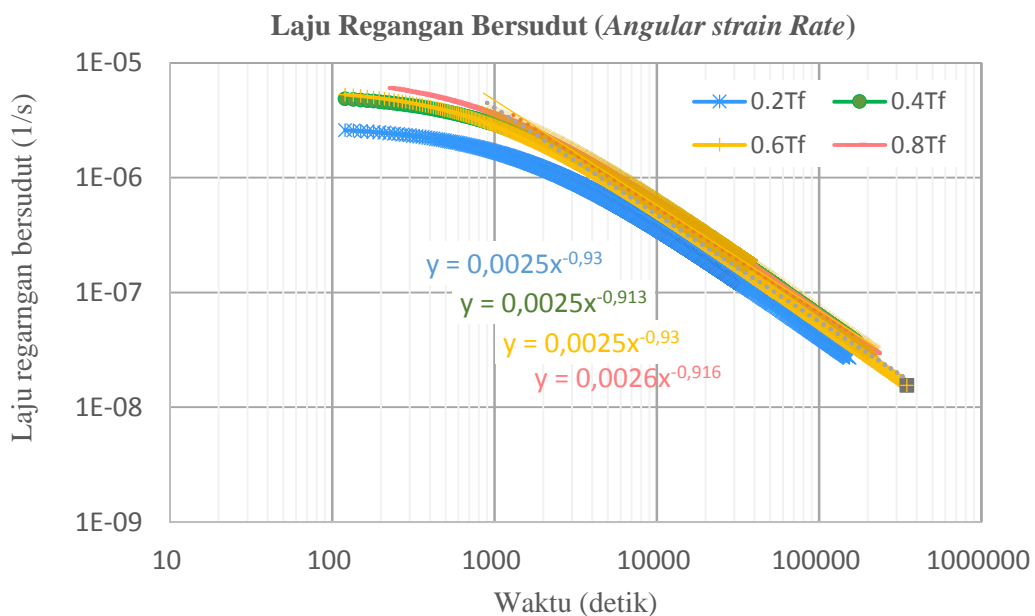
Gambar 8. Regangan bersudut bentonite SPV200 selama proses uji geser langsung dengan kenaikan tegangan geser terkontrol

Perhitungan parameter rangkak dimulai dengan menentukan waktu dimulainya rangkak, t_0 , dari kurva hubungan antara regangan bersudut dan waktu, menggunakan metode curve-fitting, sehingga didapatkan nilai t_0 untuk masing-masing regangan bersudut pada setiap kenaikan tegangan geser. Persamaan regangan bersudut yang merupakan fungsi dari waktu awal ditambahkan dengan t_0 menggambarkan regangan rangkak yang terjadi pada bentonit selama proses uji geser langsung, diperoleh dari regresi semi-log seperti pada Gambar 9.



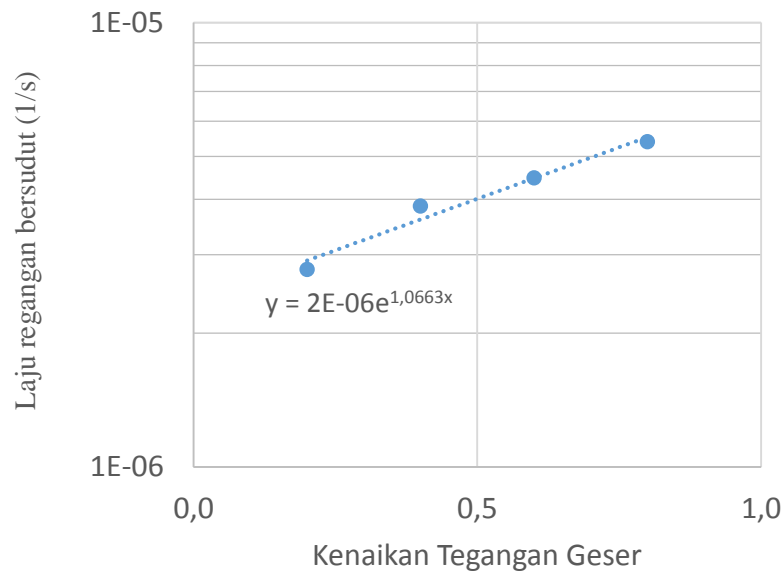
Gambar 9. Hubungan antara regangan rangkak dengan waktu untuk masing-masing kenaikan tegangan geser

Turunan pertama dari persamaan di atas pada setiap kenaikan tegangan geser dipakai untuk mendapatkan data laju regangan bersudut terhadap fungsi waktu pada Gambar 10 yang merepresentasikan laju rangkak (*creep rate*).



Gambar 10. Laju regangan bersudut (laju rangkak) pada setiap kenaikan tegangan geser

Dari Gambar 9 diperoleh persamaan regresi *power* atau *double-log* yang menyatakan persamaan $\dot{\gamma}_0$ pada setiap kenaikan tegangan geser, dimana nilai parameter rangkai n berdasarkan Persamaan (1) dapat diperoleh dari rata-rata eksponen dari semua persamaan. Laju regangan bersudut terhadap fungsi t_0 pada setiap kenaikan tegangan geser ditunjukkan pada Gambar 11. Persamaan regresi eksponensial digunakan untuk menentukan parameter A dan α dari Persamaan (1) berdasarkan kurva pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan laju regangan bersudut dengan kenaikan tegangan geser

Dari persamaan (1), hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter rangkai untuk bentonit SPV200 adalah

$$A = 2 \cdot 10^{-6} /s$$

$$\alpha = 1.06$$

$$n = 0.922$$

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser bentonit SPV200 berkurang dengan meningkatnya kadar air. Pembengkakan (*swelling*) bentonit yang dipadatkan selama proses uji geser langsung dapat diamati pada kadar air tinggi. Uji geser langsung konvensional menghasilkan laju geser rata-rata 20% lebih lambat dari 0,15 mm/menit, dan laju geser menggunakan benda uji bentonit tidak dapat konstan hingga akhir pengujian. Hasil uji dengan tegangan geser terkontrol menunjukkan peningkatan laju regangan sudut dengan penambahan tegangan geser yang menghasilkan nilai α positif. Parameter rangkai A dan n dapat ditentukan sesuai dengan persamaan dari referensi serta dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya. Diperlukan adanya investigasi lebih dalam tentang pengaruh aliran air saat proses uji geser langsung untuk menyimulasikan kondisi bentonit yang menerima aliran air dari lingkungan sekitar tempat penyimpanan limbah nuklir aktivitas tinggi. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi input untuk prediksi perpindahan bentonit akibat berat *canister* maupun pengaruh lingkungan sekitar dalam jangka waktu 100.000 tahun menggunakan program berbasis metode elemen hingga.

Daftar Pustaka

- Borgesson, L., Hokmark, H., & Karnland, O. (1988). *Rheological properties of sodium smectite clay*. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm, Sweden. (SKB TR-88-30). Retrieved from <https://www.skb.com/publication/3305/>
- Freiesleben, H. (2013). Final Disposal of Radioactive Waste. *EPJ Web of Conferences*, Vol. 54. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/epjconf/20135401006>
- Manepally, C., Fedors, R., Basagaoglu, H., Ofoegbu, G., & Pabalan, R. (2011). *Coupled Processes Workshop Report*. U.S. Nuclear Regulatory Commission. (NRC-02-07-006). Retrieved from <https://www.nrc.gov/docs/ML1127/ML112730032.pdf>
- Pusch, R., & Adey, R. (1999). *Creep in buffer clay* . Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm, Sweden. (SKB TR-99-32). Retrieved from <https://www.skb.com/publication/16937/>
- Pusch, R., Børgesson, L., & Erlström, M. (1987). *Alteration of isolating properties of dense smectite clay in repository environment as exemplified by seven pre-quaternary clays* . Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm, Sweden. (SKB TR 87-29). Retrieved from <https://www.skb.com/publication/3272/>
- SKB. (2006). *Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation*. Main report of the SR-Can project. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm, Sweden. (SKB TR 06-09). Retrieved from <https://www.skb.com/publication/1192585/>