

Perbandingan Gaya Aksial Dan Lateral Plain Wall Beton Ringan Antara Campuran Styrofoam Dengan Coating Dan Abu Sekam Padi Dengan Fly Ash

Jaka Syahputra

¹Program Studi Teknik Sipil, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

jakasyahputra@gmail.com

Abstrak

Dinding adalah suatu struktur padat yang membatasi dan kadang melindungi suatu area yang dipasang secara vertikal. Hasil penelitian sebelumnya oleh Enda et al., 2016 dan Puro, 2014 menyatakan bahwa pemanfaatan material dari berbagai bahan limbah mempunyai daya dukung yang cukup baik untuk dijadikan berbagai kebutuhan beton ringan. Pemanfaatan beton ringan sebagai dinding cukup efektif karena fungsi utama dinding bukan sebagai struktur utama pada suatu konstruksi. Namun pada kenyataannya dinding juga berpengaruh terhadap gaya gaya yang bekerja pada struktur di sekitarnya. Hal ini membuat dinding juga berpengaruh terhadap gaya aksial dan lateral. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku dinding polos beton ringan akibat beban aksial dan lateral dengan menggunakan pemodelan metode elemen hingga. Ruang lingkup daya dukung beton ringan yang digunakan diambil dari tinjauan literature hasil penelitian sebelumnya. Dinding panel dimodelkan sebagai elemen solid 3D. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah informasi tegangan akibat beban yang bekerja dan deformasi yang terjadi pada dinding, yaitu untuk mengetahui kemungkinan lokasi kerusakan pada dinding panel. Hasil simulasi diketahui bahwa saat beban sebesar 1000 N akan terjadi deformasi maksimum sebesar 0,002 mm pada dinding beton ringan Enda dkk dan 0,16 mm pada dinding beton ringan Sarjono puro, dan mengalami stress sebesar 0,084 Mpa di kedua dinding beton ringan tersebut. Secara simulasi dinding beton ringan Enda dkk lebih kuat dibandingkan dinding beton ringan Sarjono Puro, artinya beton dengan material Styrofoam dengan lapisan coating lebih baik dibandingkan beton ringan dengan material abu sekam padi dengan fly ash. Dari informasi tersebut dapat diketahui besarnya beban kerja yang direkomendasikan mampu di tahan oleh dinding panel.

Kata Kunci: Dinding Panel, Penelitian, Deformasi.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, maka bertambah pula inovasi dan kreasi baru dalam pembuatan beton ringan, mulai dari bahan dan cara pembuatannya pun bermacam-macam. Setiap produk yang dihasilkan dari inovasi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Sehingga, setiap melakukan pekerjaan konstruksi bangunan harus memilih bahan bangunan yang sesuai dengan jenis dan manfaat bangunan tersebut, agar dapat menghasilkan bangunan yang berkualitas dan ekonomis. Salah satu bentuk inovasi dari perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) adalah dengan pembuatan beton ringan. Beton ringan pada umumnya tersusun dari bahan kapur, pasir, silika, semen dan air.

Meskipun berbasis beton, namun justru memiliki berat jenis lebih ringan ketimbang material baja, beton bertulang, batu bata, batako bahkan kayu, sehingga berat beban struktur dari suatu konstruksi menjadi otomatis berkurang. Namun jika dilihat dari unsur material penyusun dari beton ringan tersebut memiliki kelemahan yaitu keterbatasan sumber daya materialnya seperti kapur dan silika sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu alternative penggunaan material yang murah dan memiliki sifat material yang sama dengan kapur, silika bahkan semen.

Akhir-akhir ini beton ringan banyak digunakan sebagai bahan pembuatan dinding panel, hal ini karena beton ringan sangat mudah dalam pembuatannya dan harganya yang cukup murah. Pada perencanaannya, dinding beton ringan harus memiliki sifat yang kuat dalam menahan gaya aksial dan lateral. Dinding juga salah satu komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur, oleh sebab itu material campuran dalam pembuatan dinding beton ringan harus dapat meningkatkan daya dukung terhadap gaya aksial dan lateral. Kerusakan pada dinding bata yang sering terjadi karena tidak adanya struktur yang cukup untuk menahan dinding terhadap arah lateral gempa.

Untuk mengetahui kemampuan dinding panel dalam menahan gaya aksial dan lateral maka perlu dilakukan pengujian secara eksperimen dan simulasi. Akhir-akhir ini banyak sekali para peneliti yang melakukan penelitian dengan menggunakan simulasi dengan software, tujuannya adalah untuk mempermudah pekerjaan dan menghemat waktu.

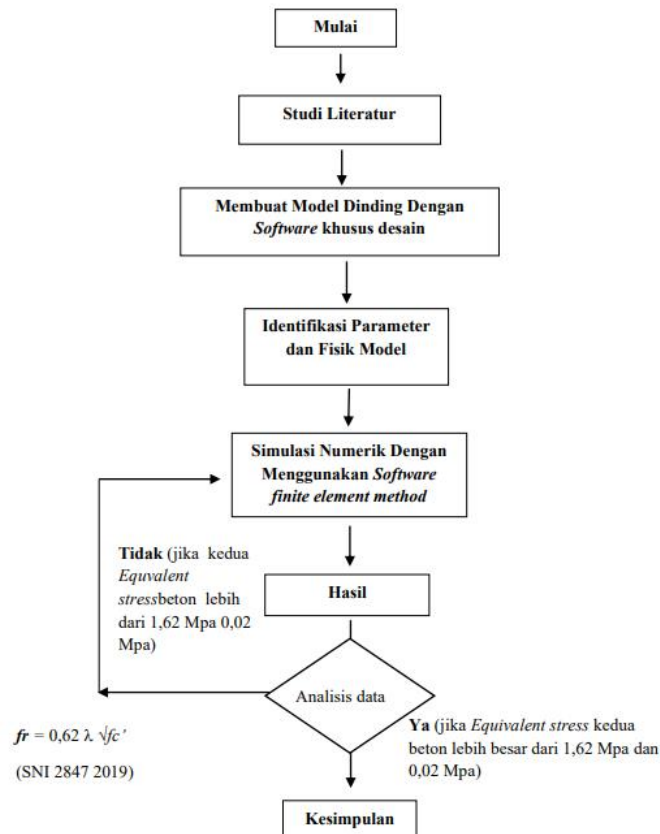
diperlukan sebuah pendekatan statistik (probabilistic) untuk mengevaluasi kinerja pada benda uji yang menerima beban lateral. Evaluasi hasil-hasil uji eksperimen dan numerik terhadap struktur dinding batu bata dan portal rangka kayu tradisional dapat dipergunakan untuk memperkirakan tingkat kerusakan akibat beban lateral monotonik maupun siklik. Interpretasinya dari finite element method analisis ini pada umumnya berkaitan dengan evaluasi terhadap perbaikan dan kemungkinan cost yang diperlukan pada struktur tersebut. finite element method analisis merekomendasikan penggunaan sebuah prosedur yakni fragility function sebagai salah satu prosedur sederhana untuk mengevaluasi tingkat kerusakan struktur. Dari studi ini, dibangun sebuah kurva drift-base fragility untuk memperoleh sebuah estimasi dari probabilitas yang ditentukan oleh ambang batas lendutan (deformasi) pada puncak struktur. Deformasi akibat beban lateral monotonik maupun siklik biasanya diasosiasikan dengan beberapa kegagalan struktur awal misalnya berupa retak (crack) sampai pada pengamatan terhadap retak diagonal (shear failure) atau sampai pada keruntuhan secara total (collapse).

Pemodelan numerik dapat mewakili keadaan pengujian secara eksperimen. salah satu keunggulan dari teknik pemodelan numerik, yang jika

dilakukan dengan benar, dapat menangkap fenomena tertentu yang tidak terdeteksi dalam pengujian eksperimental.

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir proses pada penelitian simulasi dinding dengan menggunakan Software ansys dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Alur Penelitian

Sebelum melakukan simulasi numerik dengan software finite element method terlebih dahulu mencari referensi dari beberapa sumber yang membahas tentang beton ringan, beton ringan ramah lingkungan, inovasi material beton ringan yang mudah di dapatkan, dinding panel, pengaruh beban aksial dan lateral terhadap dinding, dan simulasi dengan menggunakan software finite element method.

3. HASIL

Hasil pengujian dinding

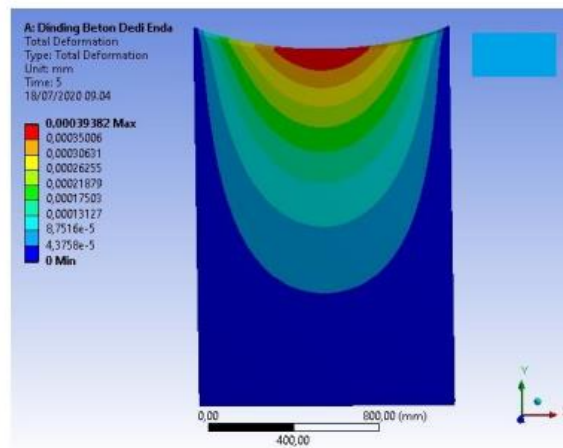
Pengujian dinding beton ringan Enda dkk

Hasil Pengujian terhadap gaya aksial

Deformasi

Deformasi yang terjadi pada dinding beton ringan Enda dkk akibat gaya aksial yang bekerja adalah pada bagian tengah atas dinding yang paling jauh dari tumpuan. Terjadinya deformasi di lokasi tersebut karena gaya yang bekerja adalah gaya merata dan tumpuan yang di gunakan pada dinding adalah jepit-jepit sehingga tumpuan dapat menahan gaya merata secara seimbang. Deformasi yang terjadi adalah deformasi aksial atau deformasi searah gaya tersebut bekerja. Deformasi tersebut terjadi akibat adanya mikro-stress pada dinding beton ringan Enda dkk yang di akibatkan oleh gaya aksial. Secara

sederhana dapat dituliskan konsentrasi mikro-stress yang terjadi akan menimbulkan deformasi, deformasi ini akan membangkitkan dislokasi (kerusakan tingkat mikro), dan kerusakan ini akan menyebabkan terjadinya struktur pita. Proses ini akan terus berkembang ke tingkat makro dan berakhir dengan putus atau patahnya material. Hasil deformasi pada pengujian dinding beton ringan Enda dkk terhadap gaya aksial dapat di lihat animasi geometri dan diagram kontur yang telah di keluarkan oleh software finite element method pada Gambar dibawah.

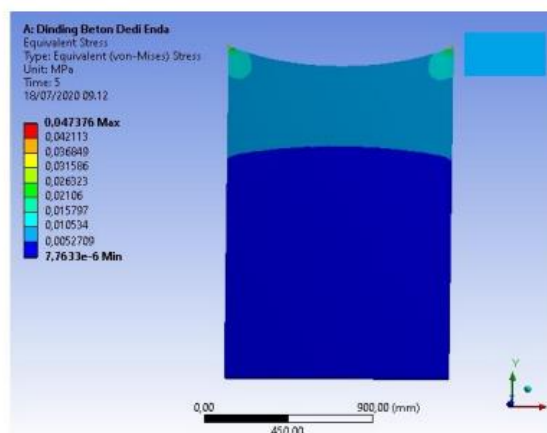


Gambar 2. Deformasi akibat gaya aksial dinding beton ringan Enda dkk.

Deformasi maksimum terjadi di tengah bentang dinding yang paling jauh dari tumpuan. Besar deformasi maksimum akibat gaya aksial yang bekerja adalah sebesar 0,0039 mm pada time step ke 5 yaitu dengan gaya sebesar 1000 N. Besar deformasi dinding tiap time step dan gayanya terhadap gaya aksial.

Stress

Beton yang mengalami gaya tekan tentunya menimbulkan tegangan (stress) didalam beton. Pada pengujian ini stress yang terjadi pada dinding beton ringan Enda dkk adalah pada bagian dinding yang di kenai tumpuan. Hal ini terjadi karena pada bagian tersebut adalah bagian dari geometri yang paling besar menahan gaya aksial yang bekerja. Karena hanya gaya aksial yang bekerja maka beton akan mengalami perpindahan searah aksial. Stress yang terjadi akibat gaya aksial dapat dilihat pada Gambar dibawah.

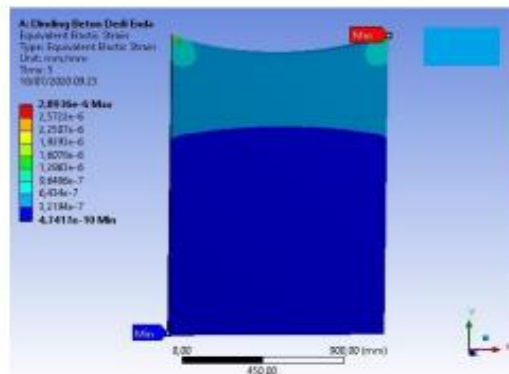


Gambar 3. Stress yang terjadi akibat gaya aksial dinding beton ringan Enda dkk

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa stress terjadi pada ujung kanan atas yaitu sebesar 0,047 Mpa pada saat beban sebesar 1000 N. Sedangkan batas kehancuran pada dinding beton Enda dkk adalah sebesar 1,62 Mpa dihitung menggunakan rumus modulus retak (SNI 2847 2019). Artinya dinding ini belum mengalami kehancuran pada saat beban 1000 N. Stress maksimum yang terjadi akibat gaya aksial adalah sebesar 0,047 Mpa pada saat gaya 1000 N pada time step ke 5. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan (stress) maksimum selalu terjadi pada bagian tumpuan.

Strain

Beton yang mengalami gaya tekan tentunya menimbulkan tegangan (stress) di dalam beton. Tegangan ini menyebabkan bahan beton mengalami regangan (strain). Pada pengujian beton ringan Enda dkk terhadap gaya aksial, strain terjadi pada bagian geometri yang mengalami stress. Terjadinya strain pada lokasi tersebut adalah karena material dinding beton ringan mengalami tarik. Strain yang terjadi pada dinding akibat gaya aksial dapat di lihat pada Gambar dibawah ini.

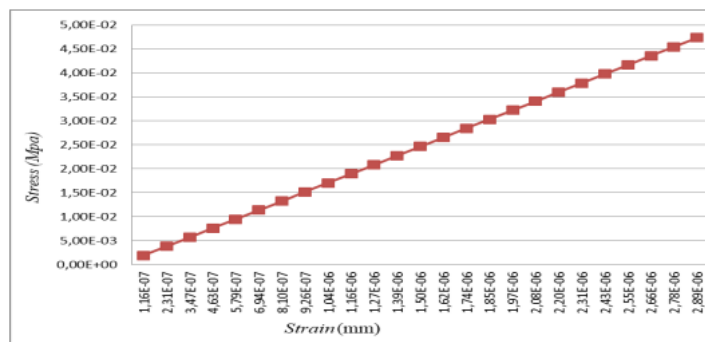


Gambar 4. Strain yang terjadi akibat gaya aksial dinding beton ringan Enda dkk.

Strain maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,00000289 mm pada time step ke 5 yaitu pada gaya sebesar 1000N. Strain maksimum terjadi pada bagian geometri yang berpegangan dengan tumpuan (constraint). Hal ini terjadi karena strain terjadi akibat adanya stress.

Hubungan antara stress dan strain

Untuk grafik hubungan antara stress dan strain yang terjadi akibat gaya aksial yang bekerja pada dinding beton ringan Enda dkk dapat di lihat pada Gambar dibawah.

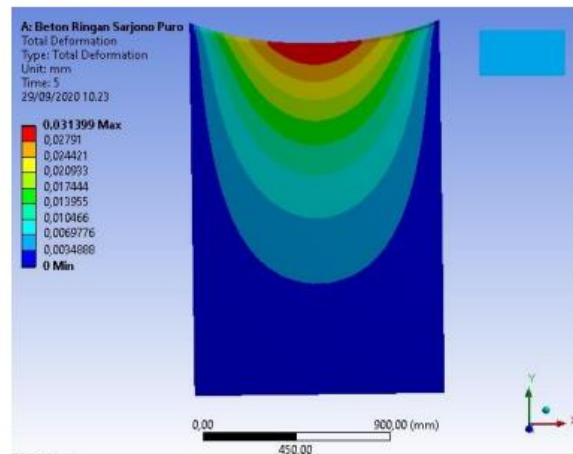


Gambar 5. Grafik hubungan antara stress dan strain.

Pada Gambar diatas dapat kita lihat bahwa grafik perbandingan antara stress dan strain adalah linear atau berbanding lurus. Menurut Souisa, (2011) hubungan antara tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke untuk elastisitas, dalam batas (limit) elastik suatu benda, dan hal ini menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan.

Pengujian dinding beton ringan Sarjono Puro Hasil pengujian terhadap gaya aksial Deformasi

Secara simulasi deformasi yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro yang dikenai gaya aksial akan berdeformasi searah aksial. Hal ini karena gaya yang bekerja adalah gaya aksial. Deformasi disebabkan oleh mikro-stress dan akhirnya menyebabkan dislokasi. Dislokasi ini akan menyebabkan kerusakan tingkat mikro dan kemudian menyebabkan kerusakan. Deformasi yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial dapat di lihat pada Gambar 6 dibawah.

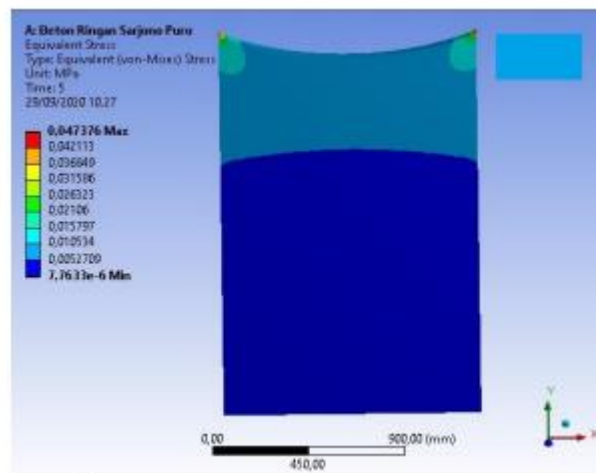


Gambar 6. Deformasi yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial.

Pada gambar di atas dapat di lihat deformasi maksimum yang terjadi akibat gaya aksial berada di bagian tengah sisi atas dinding yang paling jauh dari tumpuan yaitu sebesar 0,031 mm pada saat gaya sebesar 1000 N. terjadinya deformasi maksimum pada lokasi tersebut diakibatkan oleh gaya yang bekerja adalah gaya merata dan dinding beton ringan tersebut di tumpu pada bagian sisi kanan, kiri dan bawah.

Stress

Secara simulasi stress yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial terjadi pada bagian tumpuan, yaitu tumpuan kanan dan kiri dinding bagian atas. Hal ini terjadi karena pada bagian tersebut adalah bagian yang paling besar menahan atau melawan gaya yang bekerja karena gaya tersebut adalah gaya aksial yang datang tepat dari bagian atas dinding tersebut. Sedangkan pada bagian bawah dinding hanya mengalami stress minimum atau kondisi aman. Untuk animasi dan diagram kontur stress yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial dapat di lihat pada Gambar dibawah.

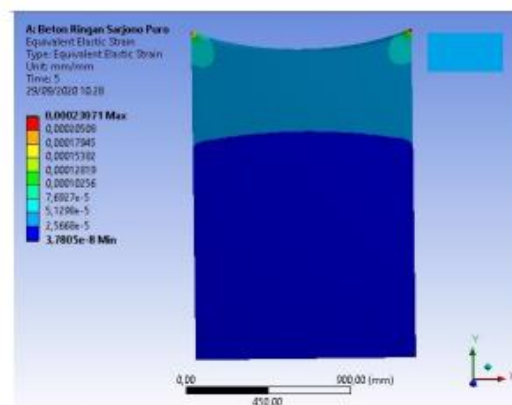


Gambar 7. Stress yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial.

Stress maksimum yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial yang bekerja terjadi pada bagian sudut dinding sisi atas. Hal ini terjadi karena gaya aksial yang bekerja berasal dari atas dinding dan langsung mempengaruhi bagian tumpuan dinding. Dapat di lihat pada animasi dan diagram kontur pada Gambar diatas. stress maksimum yang terjadi yaitu sebesar 0,047 Mpa pada saat gaya sebesar 1000 N.

Strain

Strain yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial terjadi pada bagian geometri yang mengalami stress. Strain yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial yang bekerja dapat di lihat pada Gambar dibawah.

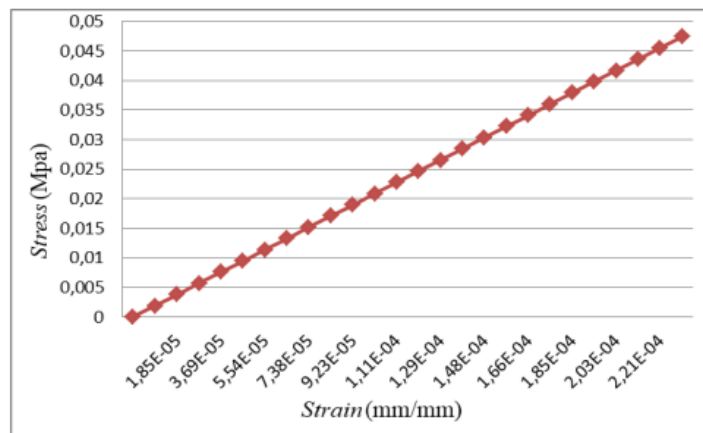


Gambar 8. Strain maksimum yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial.

Strain maksimum yang terjadi pada dinding beton ringan Sarjono puro secara simulasi terjadi pada bagian ujung kanan sisi atas dinding yang bersinggungan dengan tumpuan. strain terjadi akibat adanya stress di bagian tersebut. Strain maksimum yang terjadi yaitu sebesar 0,00023 mm/mm pada saat gaya sebesar 1000 N.

Hubungan antara stress dan strain

Hubungan antara stress dan strain yang terjadi pada dinding beton ringan arjono Puro akibat gaya aksial yang bekerja dapat di lihat pada Gmabar 9.



Gambar 9. Hubungan antara gaya aksial dan strain pada dinding beton ringan Sarjono Puro.

Pada Gambar diatas dapat di lihat bahwa hubungan antara stress dan strain berbanding lurus, artinya semakin besar stress yang terjadi maka semakin besar pula strain-nya

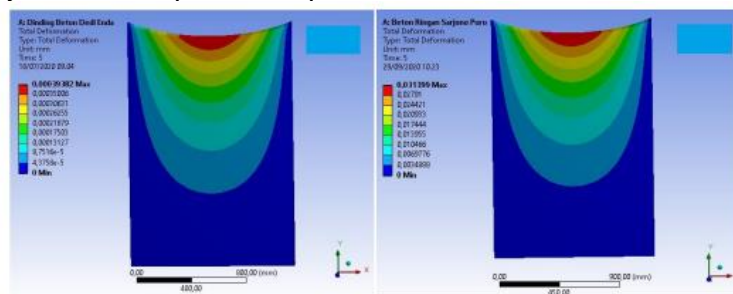
4. PEMBAHASAN

Hasil perbandingan secara simulasi

Deformasi

Perbandingan deformasi akibat gaya aksial

Perbandingan deformasi akibat gaya aksial pada dinding beton ringan Enda dkk dan Sarjono Puro dapat dilihat pada Gambar dibawah.



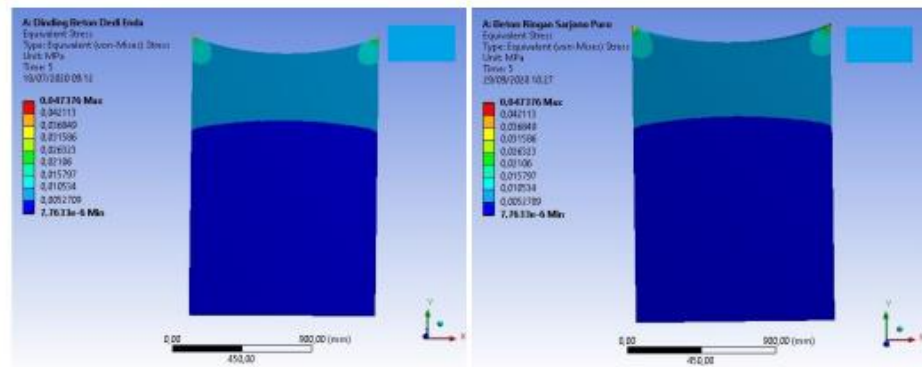
Gambar 10. Perbandingan deformasi antara dinding beton ringan Enda dkk dan Sarjono Puro.

Dinding beton ringan Enda dkk lebih kuat dalam menahan deformasi akibat beban aksial. Besar perbandingan deformasi antara kedua dinding tersebut adalah sebesar 0,031 mm. Hal ini terjadi karena material penyusun dinding beton ringan Enda dkk yang menggunakan Styrofoam dengan coating. Dan coating tersebut yaitu 85% semen + 15% fly ash sedangkan semen yang digunakan adalah semen portland tipe 1 yang mempunyai daya ikat dan meningkatkan kekuatan. Sedangkan pada material penyusun dinding beton ringan Sarjono puro meliputi abu sekam padi dan fly ash. Abu sekam padi dan fly ash hanya mempunyai sifat untuk mengikat karena memiliki kandungan silica pada kedua material tersebut tetapi tidak dapat meningkatkan kekuatan.

Stress

Perbandingan stress akibat gaya aksial

Hasil perbandingan stress antara dinding beton ringan Enda dkk dan dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial dapat dilihat pada Gambar dibawah.



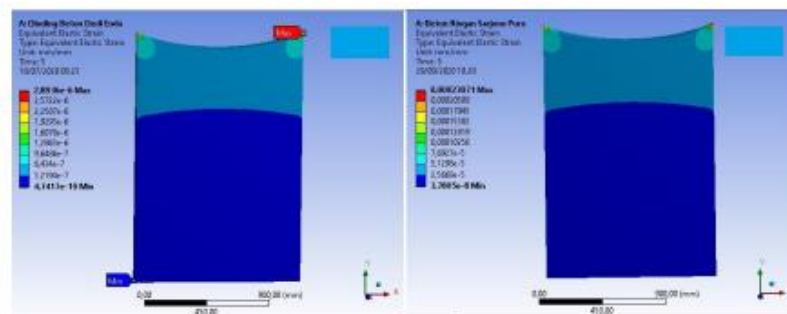
Gambar 11. Perbandingan stress antara dinding beton ringan Enda dkk dan dinding beton ringan Sarjono Puro.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa secara simulasi stress yang terjadi antara kedua dinding beton tersebut adalah sama besar. Hal ini dikarenakan dimensi dan perlakuan terhadap beton tersebut juga sama.

Strain

Perbandingan strain akibat gaya aksial

Hasil perbandingan strain yang terjadi antara dinding beton ringan Enda dkk dan dinding beton ringan Sarjono Puro akibat gaya aksial dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Gambar 12. Perbandingan strain yang terjadi antara dinding beton ringan Enda dkk dan dinding beton ringan sarjono Puro.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa dinding beton ringan Enda dkk lebih kuat dalam menahan strain yang terjadi akibat gaya aksial. Hal ini karena material penyusun dinding beton ringan Enda dkk lebih baik dibandingkan dengan material penyusun dinding beton ringan Sarjono Puro. Besar perbandingan strain antara kedua dinding tersebut adalah sebesar 0,0002 mm/mm.

5. KESIMPULAN

1. Model dinding polos yang menanggung gaya aksial cenderung mengalami kehancuran di bagian samping kanan dan kiri tepat pada bagian yang berpotongan dengan tumpuan sedangkan pada saat di beri gaya lateral

- dinding mengalami deformasi di bagian tengah dinding di bagian atas yang jauh dari tumpuan.
2. Simulasi dinding beton ringan terhadap gaya aksial dan lateral.
 - a. Pada dinding beton ringan yang menggunakan Styrofoam dengan lapisan coating yang menanggung gaya aksial sebesar 1000 N dan gaya lateral sebesar 1000 N akan mengalami deformasi sebesar $2,11E03$ mm.
 - b. Pada dinding beton ringan abu sekam padi dan fly ash yang menanggung gaya aksial sebesar 1000 N dan gaya lateral sebesar 1000 N akan mengalami deformasi sebesar $1,60E-03$ mm.
 3. Hasil perbandingan simulasi dinding beton ringan menggunakan Styrofoam dengan lapisan coating dan abu sekam padi dengan fly ash.
 - a. Dinding beton ringan Sarjono Puro mengalami deformasi lebih kecil $5,08E-04$ mm di bandingkan dinding beton ringan Enda dkk akibat gaya aksial dan lateral.
 - b. Dinding beton ringan Sarjono Puro mengalami stress lebih kecil $8,48E-02$ Mpa di bandingkan dinding beton ringan Enda dkk akibat gaya aksial dan lateral.
 - c. Dinding beton ringan Sarjono Puro mengalami strain lebih kecil $1,25E-06$ mm/mm di bandingkan dinding beton ringan Enda dkk akibat gaya aksial dan lateral.
 4. Beton ringan Enda dkk lebih kuat dalam menahan gaya aksial dan lateral, hal ini dapat dilihat dari hasil deformasi, stress, dan strain secara simulasi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa beton ringan dengan campuran material Styrofoam yang di-coating lebih kuat dari pada beton ringan dengan campuran material abu sekam padi dan fly ash. Karena coating yang digunakan oleh Enda dkk adalah 80% semen Portland tipe 1 dan 15% fly ash, dan sifat semen portland tipe 1 adalah dapat mengikat dan meningkatkan kekuatan. Sedangkan material yang digunakan oleh Sarjono Puro adalah abu sekam padi dan fly ash yang kandungannya adalah silika yang mempunyai daya ikat tetapi tidak meningkatkan kekuatan pada beton ringan tersebut.

REFERENSI

- Abd Rahim, S. M., Mohd Zahid, M. Z. A., Wan Omar, W. M. S., bin Ab Rahim, M. A., & Faisal, A. (2016). Assessment of Reinforced Concrete Building with Soil Structure Interaction Effect under Vertical Earthquake. In *Materials Science Forum* (Vol. 857, pp. 331-336). Trans Tech Publications Ltd.
- Ahmad Mujahid, A. Z., Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Mohamad, N., & Riza, F. V. (2014). Potential of RHA in foamed concrete subjected to dynamic impact loading (Vol. 594, pp. 395-400). Trans Tech Publications Ltd.
- Ahmad Mujahid, A. Z., Hadipramana, J., Samad, A. A. A., & Mohamad, N. (2014). Investigation on Impact Resistance Foamed Concrete Reinforced by Polypropylene Fibre (Vol. 594, pp. 24-28). Trans Tech Publications Ltd.
- Ahmad, M. M., Zainol, N. Z., Ab Manaf, M. B. H., Faisal, A., & Zahid, M. M. (2020). APPLICATION OF NATURAL FIBER FOR SHORT TERM STABILIZATION OF MARINE CLAY SLOPE. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 14(2 (2)).
- Ahmad Mujahid, A. Z., Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Mohamad, N., & Riza, F. V. (2014). Potential of RHA in foamed concrete subjected to dynamic impact loading (Vol. 594, pp. 395-400). Trans Tech Publications Ltd.
- Ambak, K., Hadipramana, J., Abas, N. A., Mohkatar, S. N., & Jani, Z. (2018). Investigation on Potential of Recycle Plastic Bottles as a Crash Cushion for Road Barrier. *International Journal of Integrated Engineering*, 10(4).

- Asfiati, S., Riky, M. N., & Rajagukguk, J. (2020). Measurement and evaluation of sound intensity at the Medan Railway Station using a sound level meter. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1428, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Chairina, E., Asfiati, S., & Panjaitan, S. (2020). Utilization of Clamshell as Filler and Addition of Sikafume on The Examination of High Quality Concrete.
- Dary, R. W., Frapanti, S., & Utami, C. (2019). Evaluasi Kekakuan Batu Bata Lubuk Pakam Pada Bangunan Bertingkat Dengan Analisis Pushover. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 11-15.
- Efrida, R., & Utami, C. (2019). EVALUASI KINERJA DINDING PENGISI BATA MERAH DENGAN OPENINGS PADA STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN GEMPA KUAT. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 24-29.
- Faisal, A. INFLUENCE OF PULSE PERIOD AND OSCILLATORY CHARACTER IN NEAR-FAULT GROUND MOTIONS ON THE RESPONSE OF RC STRUCTURE. In *Symposium of USM Fellowship Holders 2009* (p. 36).
- Faisal, A. INFLUENCE OF PULSE PERIOD AND OSCILLATORY CHARACTER IN NEAR-FAULT GROUND MOTIONS ON THE RESPONSE OF RC STRUCTURE. In *Symposium of USM Fellowship Holders 2009* (p. 36).
- Frapanti, S. (2018). Studi perhitungan kekakuan portal dinding bata pada bangunan bertingkat dari beberapa negara dengan pushover. *Educational Building Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 4(1 JUNI), 1-10.
- Gunawan, R. (2006). Analisis Sumber Daya Air Daerah Aliran Sungai Bah Bolon Sebagai sarana Pendukung Pengembangan Wilayah di Kabupaten Simalungun dan Asahan. *WAHANA HIJAU Jurnal Perencanaan & Pengembangan Wilayah*, 2(1).
- Kamarudin, A. F., Musa, M. K., Mokhatar, S. N., Chik, T. T., Zuki, S. M., Bakar, A. A., ... & Johari, H. A. (2020). Mechanical Properties of Single Shear Plane of Bolted Steel Connection. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 713, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
- Kamarudin, A. F., Ibrahim, A., Mokhatar, S. N., Abidin, M. H. Z., & Faisal, A. (2020). Dynamic Characteristics Evaluation on Portable Steel Frame against Vertical Mass Irregularities. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(9), 27-35.
- Pratiwi, W. H., Putri, G. L., Pratama, M. A., Zulkarnain, F., & Priadi, C. R. (2021). Health risk analysis of nitrite, nitrate, and heavy metal pollution in groundwater near landfill area: A case study of the Sumur Batu village in Bekasi, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 633, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
- Putera, T. A., Efrida, R., & Pasaribu, H. M. (2018). DEFORMASI STRUKTUR BANGUNAN RUMAH TOKO DI MEDAN AKIBAT GEMPA BERULANG. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Rashidi, A., Majid, T. A., Fadzli, M. N., Faisal, A., & Noor, S. M. (2017, October). A Comprehensive Study on the Influence of Strength and Stiffness eccentricities to the On-plan Rotation of Asymmetric Structure. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1892, No. 1, p. 120013). AIP Publishing LLC.
- Riza, F. V., & Rahman, I. A. (2014). The Properties of Compressed Earth-Blocks (CEB) Masonry Blocks. *J. Eco-efficient Masonry Bricks and Blocks: Design, Properties and Durability*, 17, 379-392.
- Riza, F. V., Hadipramana, J., Rahman, I. A., & Faisal, A. (2021). Particle Size and Microstructure Characterization of Uncontrolled Burning Rice Husk Ash (RHA) as Pozzolan Material. In *Materials Science Forum* (Vol. 1029, pp. 97-103). Trans Tech Publications Ltd.
- Riza, F. V., Rahman, I. A., Ahmad Mujahid, A. Z., & Loo, L. Y. (2013). Effect of Soil Type in Compressed Earth Brick (CEB) with Uncontrolled Burnt Rice Husk Ash (RHA). In *Advanced Materials Research* (Vol. 626, pp. 971-975). Trans Tech Publications Ltd.
- Riza, F. V., Rahman, I. A., & Zaidi, A. M. A. (2012). Influence of unground palm oil fuel ash (UPOFA) in compressed earth brick (CEB) properties. In *Advanced Materials Research* (Vol. 488, pp. 188-193). Trans Tech Publications Ltd.
- Riza, F. V., Hadipramana, J., Rahman, I. A., & Faisal, A. (2021). Particle Size and Microstructure Characterization of Uncontrolled Burning Rice Husk Ash (RHA) as

- Pozzolanic Material. In *Materials Science Forum* (Vol. 1029, pp. 97-103). Trans Tech Publications Ltd.
- Rhini, W. D., & Sri, F. (2019, November). The flexural buckling comparison between open and close cross sections in high column structure. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 674, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Sri¹, F., Zulkarnain¹, F., & Asfiati¹, S. (2020). The Comparison of Brick as a Load and a Structure with Non-Linear Analysis of Soft Storey Behaviour in Multi-storey Buildings (No. 4387). EasyChair.
- Sri, F., & Rhini, W. D. (2019, November). Stiffness analysis comparison of masonry full infills frame and masonry open middle span frame using Lubuk Pakam Bricks with pushover analysis. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 674, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Sri Frapanti, S. T., & Fahrizal Zulkarnain, S. T. (2021). *Dasar-Dasar Desain dan Analisa Beton Prategang*. umsu press.
- Zulkarnain, F., & Pasaribu, S. E. (2022). *Pengembangan Campuran Beton K-300 Untuk Infrastruktur Perumahan Tahan Gempa Di Indonesia* (Vol. 1). umsu press.
- Zulkarnain, F. (2021, November). Sosialisasi Pembuatan Hand Sanitizer Menggunakan Bahan Alami Sebagai Alat Kebersihan Diri. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 2, No. 1, pp. 1207-1211).
- Zulkarnain, F., & Kamil, B. (2021, November). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sica Fume Pada Perendaman Air Laut. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ* (Vol. 1, No. 1).