

Analisis Bangunan Sederhana Kawasan Terlikuifaksi

Simple Building Analysis of Liquefaction Areas

Zaelani Nur Sya'bani¹, Abdul Khamid², Wahudin Diantoro³, Dwi Denny Apriliano⁴,
Muhamad Yunus⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhadi Setiabudi, Brebes, Indonesia
E-mail: *¹zaelani@gmail.com, ²abdulkhamid.mt@gmail.com, ³ir.wahudindiantoro@gmail.com,
⁴dwidennyapriliano@gmail.com, ⁵yunus.gb89@gmail.com

Abstract

Liquefaction is one of the dangers caused by earthquakes. When the earthquake occurs, the soil undergoes a change in properties from solid to liquid due to the cyclic load received. This research aims to identify the structure of a one-story house building with simulated soil and analyze the decreases that occur due to soil and building loads are reviewed based on floor plate thickness used as percuteaneous structures. The method used in this study is a structural analysis method using building existing soil data based on the results of the Cone Penetration Test (CPT). Data were collected through observation, interviews, documentation, and literature studies which were then analyzed using SAP 2000. Software analysis results from outside and inside building points showed that the inner force in the column experienced a decrease in the value of the force. The decrease is caused by giving the plate to the floor so that the structure becomes rigid while the latitude and normal moments experience a significant decrease. Whereas building declines that occur after being given a floor plate are uniform so that the use of ground floor plates can be used as a new method in the problem of building decline. This study provides recommendations to the government to be considered in making policies on buildings that are in simulated land.

Keywords: earthquake, liquifaction, plate base

Abstrak

Likuifaksi (*liquefaction*) merupakan salah satu bahaya yang ditimbulkan dari gempa bumi. Pada saat gempa terjadi tanah mengalami perubahan sifat dari solid ke liquid akibat beban siklik yang diterima. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bangunan rumah satu lantai terhadap tanah terlikuifaksi dan menganalisa penurunan yang terjadi akibat tanah dan beban bangunan ditinjau berdasarkan tebal plat lantai yang digunakan sebagai perkutan struktur. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode analisa struktur dengan menggunakan data tanah existing bangunan berdasarkan hasil uji Cone Penetration Test (CPT). Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literature yang kemudian dianalisis menggunakan software SAP 2000. Hasil analisis dari titik tinjau luar dan dalam bangunan memperlihatkan bahwa gaya dalam pada kolom mengalami penurunan nilai gaya. Penurunan diakibatkan oleh diberikannya pelat pada dasar lantai sehingga struktur menjadi kaku sedangkan momen lintang dan normal mengalami penurunan yang signifikan. Sedangkan penurunan bangunan yang terjadi setelah diberikannya plat lantai menjadi seragam sehingga penggunaan plat lantai dasar dapat dijadikan sebagai metoda baru dalam persoalan penurunan bangunan. Penelitian ini memberikan rekomendasi kepada pemerintah agar menjadi pertimbangan dalam membuat kebijakan terhadap bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi.

Kata Kunci: gempa bumi, liquifaksi, base plat

PENDAHULUAN

Jawa Tengah khususnya kabupaten Kebumen, merupakan daerah yang memiliki potensi sangat besar terhadap gempa. Sehingga hal ini menjadi perhatian khusus bagi kita semua.

Informasi Artikel:

Submitted: September 2021, **Accepted:** September 2021, **Published:** September 2021

Berbicara tentang gempa bumi pasti ingatan kita tertuju pada kejadian September 2017 lalu. daerah Jawa Tengah khususnya Kabupaten Kebumen pada saat itu Kabupaten Kebumen diguncang gempa yang berkekuatan 6,5 Skala Richter yang berasal dari lepas pantai daerah Jawa Tengah [1], [2]. Akibat dari gempa bumi 2017 tersebut banyak aspek yang ditimbulkan. Aspek yang paling nyata terasa akibat dari gempa 2017 itu terletak pada struktur tanah. Akibat dari gempa tersebut tidak hanya menyebabkan runtuhnya dasar laut tetapi juga menyebabkan likuifaksi terjadi di hampir sebagian besar daerah di Jawa Tengah khususnya Kabupaten Kebumen. Berdasarkan informasi yang didapat dari Peneliti Puslit Geoteknologi LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) menyebutkan bahwa wilayah utara Kabupaten Kebumen mengalami penurunan tanah sekitar 25 cm akibat dari likuifaksi [3].

Likuifaksi sendiri merupakan ancaman bagi kerusakan konstruksi di Kabupaten Kebumen yang mana dapat diakibatkan oleh kecepatan dan percepatan gempa serta perpindahan permukaan tanah [4], [5]. Dimana potensi dari likuifaksi ini terutama pada lapisan pasir yang jenuh air dengan adanya gaya siklik dinamik. Hal ini merupakan ancaman yang sangat mengkuatirkan bagi kita semua. Seperti mana yang kita ketahui bersama Kabupaten Kebumen merupakan wilayah yang cukup sering diguncang gempa baik gempa bumi tektonik maupun gempa bumi vulkanik yang berada di sekitar wilayah atau daerah Jawa Tengah Terutama di Kabupaten Kebumen [6], [7].

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat dari beban siklis dinamis [8]. Pada lapisan tanah, beban siklis dinamis terjadi akibat rambatan gelombang gempa bumi tektonik [9], [10]. Bahwa likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang harganya menjadi sama dengan tekanan total oleh sebab terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol. Likuifaksi adalah proses berubahnya tanah granular jenuh dari keadaan padat (solid) menuju keadaan berperilaku cair akibat kenaikan tekanan air pori [11], [12]. Jadi dapat disimpulkan bahwa likuifaksi adalah kehilangan kekuatan tanah yang diakibatkan faktor alam dimana dari tanah yang keadaan solid menuju keadaan cair yang akan berpengaruh terhadap kekuatan tanah tersebut dalam memikul beban [13].

Kawasan terlikuifaksi adalah wilayah di dalam tanah atau batuan yang memiliki sifat yang rentan terhadap terlikuifaksi, suatu fenomena geoteknikal yang terjadi saat tanah jenuh air kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat guncangan seismik atau beban eksternal lainnya [14], [15]. Kawasan terlikuifaksi umumnya terdiri dari lapisan tanah lunak, sedimen, atau endapan sungai yang mengandung banyak air dan partikel-partikel halus [16]. Saat gempa bumi atau beban lateral lainnya terjadi, tanah di kawasan ini dapat mengalami perubahan sifat fisik yang signifikan, seperti penurunan volume, peningkatan tekanan air pori, dan kehilangan kemampuan untuk mendukung beban [17], [18]. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur di atasnya, seperti bangunan, jembatan, atau infrastruktur lainnya [19], [20]. Oleh karena itu, pemahaman dan identifikasi kawasan terlikuifaksi penting dalam perencanaan dan perancangan konstruksi agar dapat mengambil tindakan pencegahan yang sesuai dan memitigasi risiko terhadap dampak terlikuifaksi selama gempa bumi atau beban lateral lainnya [21], [22].

Kawasan terlikuifaksi adalah daerah tertentu di mana tanah atau material geologis di bawah permukaan menjadi sangat lemah dan cair akibat getaran gempa bumi atau tekanan tertentu. Terlikuifaksi terjadi karena air dalam tanah terjebak di antara butir-butir tanah longgar dan meningkatkan tekanan dalam tanah tersebut, sehingga tanah yang semula padat berubah menjadi semacam lumpur yang bergerak. Akibatnya, struktur bangunan dan infrastruktur yang didirikan di atas kawasan terlikuifaksi dapat mengalami kerusakan serius, termasuk penurunan, retak, dan kemungkinan runtuh [23], [24].

Kawasan terlikuifaksi biasanya terkait dengan daerah yang memiliki endapan pasir, lumpur, atau deposit lain yang mudah tergerus dan mengandung tingkat air yang tinggi. Untuk mengurangi risiko kerusakan di kawasan ini, perencanaan konstruksi dan perkuatan tanah khusus seringkali diperlukan [25], [26]. Studi geoteknik dan pemahaman yang baik tentang sifat

geologis kawasan tersebut sangat penting untuk melindungi infrastruktur dan keselamatan manusia. Kawasan terlikuifaksi sering menjadi fokus utama dalam perencanaan tahan gempa bumi [27].

Apabila intensitas ini terus meningkat dapat dipastikan penurunan tanah akibat likuifaksi di Kabupaten Kebumen ini akan semakin besar. Akibat dari gempa yang menyebabkan likuifaksi tersebut kebanyakan konstruksi bangunan yang ada di daerah Kabupaten Kebumen ini mengalami kerusakan di bagian strukturnya. Seperti yang kita ketahui struktur bangunan adalah inti dari bangunan itu sendiri [28]. Apabila intinya tersebut bermasalah akan berdampak kepada bagian yang lainnya pula. Hal ini sangatlah berpengaruh besar terhadap konstruksi bangunan yang berada pada daerah gempa. Saat sekarang ini diinginkan struktur bangunan yang tahan terhadap bahaya likuifaksi [29].

Base plate atau dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan pelat dasar, adalah komponen penting dalam konstruksi struktur, terutama pada bangunan bertingkat, menara, atau struktur berat lainnya [30]. *Base plate* adalah pelat yang biasanya terletak di bawah kolom atau tiang penyangga utama suatu struktur. Fungsi utamanya adalah untuk mendistribusikan beban yang ditransfer oleh kolom ke pondasi di bawahnya secara merata. *Base plate* biasanya terbuat dari baja atau beton yang kuat dan berat agar mampu menahan beban struktural dengan baik [31]. Desain *base plate* adalah proses perencanaan dan perancangan elemen dasar yang digunakan untuk menghubungkan tiang atau kolom struktural dengan pondasi bangunan. *Base plate* biasanya terbuat dari baja yang diletakkan di bawah tiang struktural dan dihubungkan dengan pondasi atau konstruksi di bawahnya. Tujuan utama dari desain *base plate* adalah untuk mendistribusikan beban struktural ke dalam pondasi dengan aman dan efisien serta memastikan kestabilan struktur [32].

Proses desain *base plate* melibatkan perhitungan yang cermat terhadap beban yang diterima oleh tiang atau kolom, serta kondisi tanah dan lingkungan sekitar [33]. Ini mencakup penentuan ukuran dan ketebalan *base plate*, pemilihan bahan, pemilihan jenis sambungan, dan perhitungan perangkat lunak untuk memastikan *base plate* memenuhi standar kekuatan dan keamanan yang diperlukan. Desain *base plate* juga harus mempertimbangkan aspek lain seperti gaya tarik, momen lentur, dan eksentrisitas beban [34]. Hasil dari desain *base plate* harus memenuhi persyaratan teknis dan regulasi bangunan yang berlaku, serta memastikan bahwa struktur bangunan dapat berfungsi dengan aman dan tahan lama. Kualitas desain *base plate* sangat penting untuk keberhasilan keseluruhan proyek konstruksi dan keamanan struktural.

Base plate seringkali memiliki desain geometrik yang kompleks dan dapat dilengkapi dengan baut pengencang untuk mengikatnya dengan kolom [30]. Desain *base plate* harus mempertimbangkan beberapa faktor, seperti beban vertikal dari struktur di atasnya, momen lentur yang terjadi, dan juga kemungkinan perpindahan yang dapat terjadi selama peristiwa seperti gempa bumi [35]. Keamanan dan ketahanan *base plate* adalah hal yang kritis dalam perencanaan struktur, dan analisis teknik yang cermat diperlukan untuk memastikan bahwa *base plate* mampu menangani beban-beban tersebut tanpa mengalami deformasi atau kegagalan yang tidak diinginkan [36]. Oleh karena itu, desain dan instalasi *base plate* adalah salah satu aspek kunci dalam keselamatan dan kinerja struktur bangunan [37].

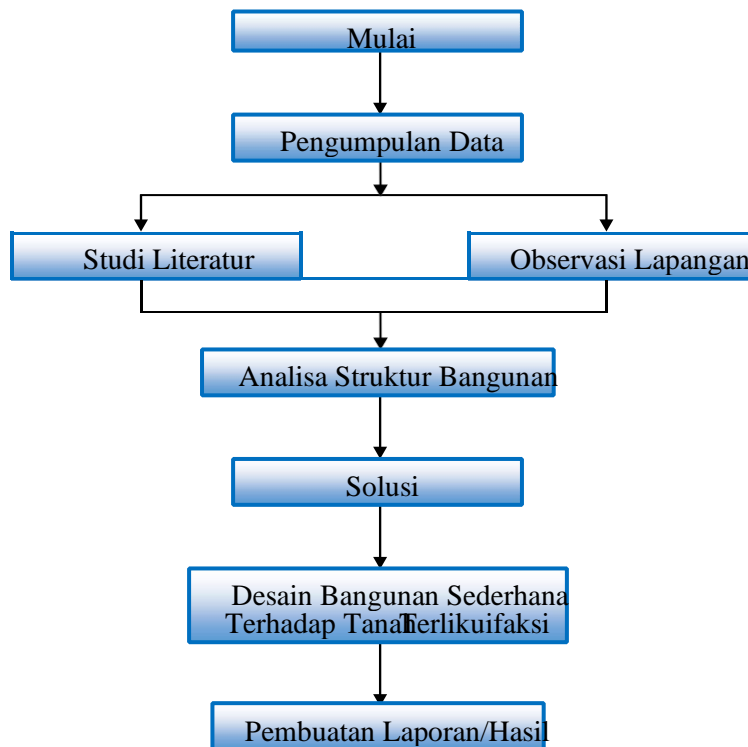
Muntohar (2009) melakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan percepatan pergerakan permukaan tanah (peak ground acceleration/PGA) akibat gempa bumi 27 Mei 2006. Analisis dilakukan dengan menggunakan data sondir. Percepatan pergerakan permukaan tanah dihitung dengan analisis-balik (backanalysis) berdasarkan kejadian likuifaksi di Kampus Terpadu UMY. Magnitudo gempa yang digunakan dalam analisis adalah 6,3 Mw yang merupakan magnitudo gempa 27 Mei 2006 [38].

Hasil analisis balik menunjukkan bahwa percepatan gempa antara 0,23 g dan 0,54 g telah menyebabkan likuifaksi 50% lapisan pasir di bawah permukaan tanah (Gambar 2.10). Secara umum, percepatan gempa di permukaan tanah sebesar 0,36 g hingga 0,68 g diperkirakan dapat memicu terjadinya likuifaksi. Kajian terhadap potensi likuifaksi dengan menggunakan hasil uji penetrasi standard (standard penetration test/SPT) yang dilakukan oleh Muntohar (2010) [39].

Lokasi kajian berada di Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Berdasarkan hasil uji awal berupa distribusi ukuran partikel tanah (Gambar 2.10) diketahui bahwa lokasi yang diuji sangat rentan terhadap risiko likuifaksi. Keadaan ini adalah kondisi umum untuk wilayah Bantul seperti ditunjukkan pula pada Gambar 2.7 (Koseki dkk.,2007). Hasil penelitian ini menunjukkan potensi likuifaksi dapat terjadi di kedalaman 5 m hingga 20 m dari permukaan tanah dengan probabilitas kejadian berkisar 5% hingga 90% [40].

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi berjudul "Analisis Bangunan Sederhana Kawasan Terlikuifaksi dengan SAP 2000" adalah metode numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000. Langkah pertama melibatkan pengumpulan data geoteknik lapangan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah dan potensi terlikuifaksi di kawasan tersebut. Setelah itu, model geometri dan sifat material bangunan serta tanah dibangun dalam perangkat lunak SAP2000. Analisis dinamik nonlinier dilakukan dengan memasukkan fungsi beban yang menggambarkan gempa sebagai pemicu terlikuifaksi. Proses ini memungkinkan simulasi respons struktur bangunan terhadap kemungkinan likuifaksi pada tanah di sekitarnya. Dari hasil analisis tersebut, performa struktur bangunan dievaluasi dalam skenario terlikuifaksi yang berpotensi terjadi. Kesimpulan dari penelitian ini akan diperoleh berdasarkan hasil analisis numerik dengan SAP2000, memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana bangunan sederhana dalam kawasan terlikuifaksi dapat mengatasi dan mengurangi risiko yang mungkin timbul.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tahap pertama melibatkan pemahaman menyeluruh tentang likuifaksi, termasuk definisi, penyebab, dampak terhadap bangunan, serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Pengumpulan data dimulai dengan survei lapangan untuk mengumpulkan informasi sekunder dan mendapatkan data penduduk dan peta lokasi terpilih. Studi literatur dilakukan untuk mendalami

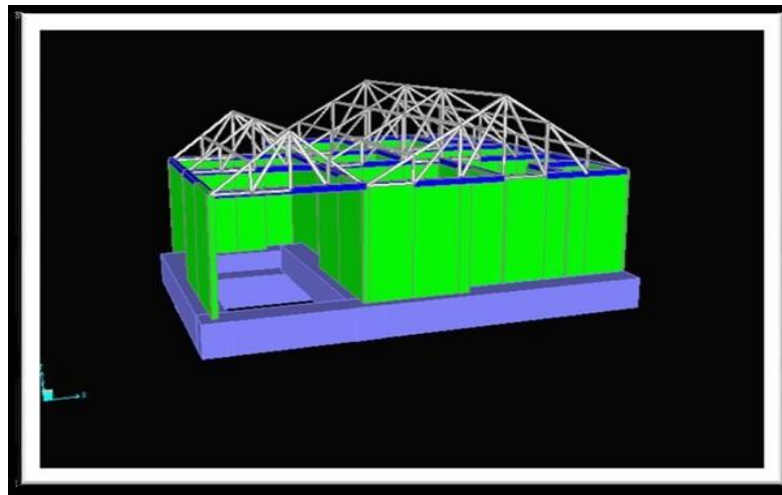
konsep likuifaksi, termasuk peraturan yang mengaturnya dan dampaknya terhadap struktur bangunan.

Observasi lapangan menjadi tahap penting, di mana data primer tentang penurunan bangunan akibat likuifaksi dikumpulkan dengan melakukan observasi langsung. Data hasil observasi kemudian dianalisis berdasarkan teori yang relevan. Langkah selanjutnya adalah mengembangkan model bangunan yang mewakili situasi di lapangan dan menganalisisnya menggunakan perangkat lunak yang mendukung. Dalam tahap desain, model bangunan yang aman terhadap likuifaksi dirancang berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Solusi-solusi spesifik diterapkan untuk mengatasi risiko likuifaksi dalam desain tersebut. Selanjutnya, semua tahapan di atas menghasilkan laporan yang berisi analisis, perancangan, dan solusi untuk bangunan sederhana yang aman terhadap ancaman likuifaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

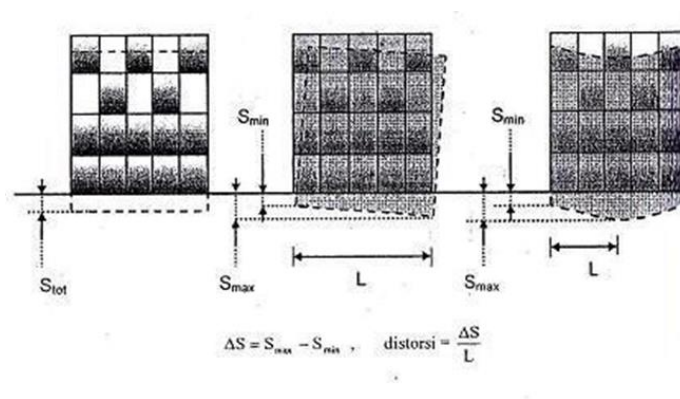
Evaluasi terhadap bangunan pada tanah terlikuifaksi dianggap menjadi sebuah mekanisme baru bagi permasalahan bangunan baik struktur maupun tanahnya dan dapat dijadikan acuan pada masa yang akan datang. Pada dasarnya penurunan bangunan terhadap tanah terlikuifaksi prosesnya hampir sama dengan penurunan konsolidasi. Konsolidasi dapat didefinisikan sebagai keluarnya air pori tanah diikuti dengan berkurangnya volume tanah. Bila orientasi berkurangnya volume tanah adalah arah vertikal, maka yang terjadi adalah penurunan.

Analisis struktur rumah sederhana ini dilakukan dengan menggunakan permodelan struktur 3D dengan menggunakan software SAP2000 Versi 11. Kolom-kolom, balok-balok dari struktur gedung dimodelkan sebagai elemen frame sedangkan tanah dan pondasi dimodelkan sebagai elemen solid. Pemodelan yang dilakukan adalah sesuai dengan kondisi eksisting rumah sederhana saat ini. Analisis beban gempa menggunakan analisis dinamis (respon spektrum) gempa untuk Kota Kebumen berdasarkan Spektra Gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 03- 1726-2012 dengan bantuan program aplikasi online “Desain Spektra Indonesia” yang dikeluarkan Puskim PU tahun 2011, dimana untuk mendapatkan respon spektrum gempa berdasarkan koordinat global lokasi gedung tersebut Dari hasil analisis struktur akan diperoleh besarnya gaya dalam dan perpindahan struktur bangunan (displacement).



Gambar 2. Model Bangunan Dengan SAP 2000

Dari hasil penurunan yang di dapat dari SAP2000 menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi antara tiap titik tidaklah sama. Dimana pada kasus ini titik yang di tinjau adalah bagian luar dan dalam bangunan. Pada kolom bagian luar bangunan terjadi penurunan terbesar yaitu sekitar 3,08cm sedangkan kolom bagian dalam bangunan terjadi penurunan terkecil sekitar 0,8 cm. Selanjutnya penurunan ini akan di tinjau berdasarkan perkiraan penurunan distrosi sebagai berikut:



Gambar 3. Perkiraan Penurunan Distorsi Pada Kondisi Eksisting

Dimana nilai distorsi akibat penurunan yang tak seragam ini dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Distorsi} = \Delta S / L$$

$$\Delta S = S_{max} - S_{min}$$

Keterangan :

$$S_{max} = 3,08 \text{ cm} = 30,8 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 0,8 \text{ cm} = 8 \text{ mm}$$

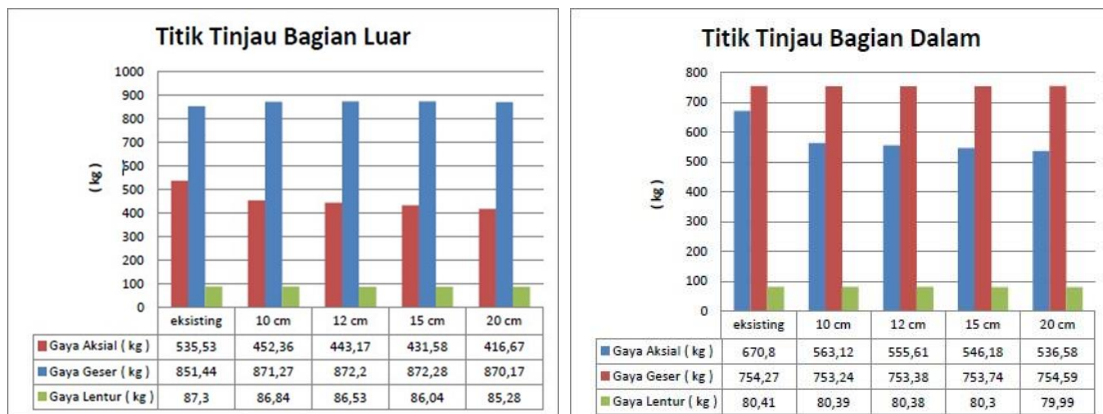
$$L = 12 \text{ m} = 12000 \text{ mm}$$

$$\Delta S = S_{max} - S_{min} = 30,8 \text{ mm} - 8 \text{ mm} = 22,8 \text{ mm}$$

$$\text{Distorsi} = \Delta S / L = 22,8 \text{ mm} / 12000 \text{ mm}$$

Dimana nilai yang di dapat masih masuk kedalam nilai batas izin perkiraan terjadinya penurunan distrosi yaitu 30,8 mm yang berada dalam batasan antara 25 – 50 mm. Sedangkan pada nilai batas rasio distrosi, bangunan tersebut menyatakan bahwa nilai dari 22,8 mm / 12000 mm tersebut masih termasuk kedalam batas nilai aman untuk gedung / bangunan rumah sederhana tanpa adanya retakan yang berarti. Akan tetapi penurunan yang berbeda ini pastinya akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur. Untuk itu di perlukan sebuah perkuatan struktur yang mana diharapkan penurunan di tiap titik sama.

Hasil evaluasi yang di dapat pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa terjadi penurunan bangunan rumah sederhana yang tidak seragam. Bisa dikatakan antara bagian dalam dengan bagian luar terdapat perbedaan ketinggian penurunan. Dengan demikian maka akan dilakukannya analisa dengan memberikan perkuatan pada bagian lantai. Perkuatan dengan menambahkan struktur plat lantai dilakukan dengan 4 model sebagai berikut: Model 1, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 10 cm, Model 2, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 12 cm, Model 3 , bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 15 cm, Model 4 , bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 20 cm



Gambar 4. Perbandingan Gaya Kolom Dalam dan Luar

Dari hasil uji variasi plat lantai yang di gunakan pada analisa berikut ini menunjukkan bahwa penurunan yang di dapat sangat berpengaruh pada plat lantai yang diberikan. Dapat dilihat antara bangunan yang tidak menggunakan plat lantai dengan bangunan yang menggunakan plat lantai perbedaannya sangat besar. Dimana pada kondisi eksisting kolom bagian luar turun sekitar 3,08 cm setelah diberikan plat lantai dengan ketebalan 10 cm penurunan yang terjadi berkurang menjadi 0,0238 cm.



Gambar 5. Penurunan Setelah Diberikan Plat 10 cm

Dari hasil perbandingan gaya dalam dan penurunan kondisi eksisting dengan 4 model konfigurasi perkuatan yang direncanakan, maka dipilihlah model konfigurasi permodelan yang pertama. Hal ini disebabkan karena dengan diberikannya pengakuan pada lantai dengan ketebalan plat 10 cm memberi efek yang nyata terhadap penurunan dari bangunan tersebut. Penurunan yang pada awalnya 3,08 cm pada kondisi eksisting dapat berkurang menjadi 0,0238 cm setelah di berikan plat lantai dengan ketebalan 10 cm. Dengan penambahan plat tersebut bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi dapat terhindar dari bahaya gulingnya bangunan.

KESIMPULAN

Dalam studi analitik evaluasi kinerja struktur dan metode perkuatan pada bangunan rumah sederhana di Desa Serut, Kecamatan Kuwarasan, Kabupaten Kebumen, beberapa temuan utama dapat diambil. Pertama, dampak likuifaksi di Kabupaten Kebumen menyebabkan penurunan yang tidak merata pada bangunan. Kedua, penurunan akibat likuifaksi berkisar antara 0,8 cm hingga 3,08 cm, dengan penurunan paling signifikan terjadi pada bagian luar bangunan daripada bagian dalamnya. Ketiga, penurunan ini memiliki dampak besar terhadap beban bangunan, baik beban mati maupun beban hidup. Keempat, dalam konteks perkuatan struktur, opsi yang diambil adalah penambahan plat lantai pada lantai dasar. Kelima, perkuatan ini menghasilkan gaya dalam struktur yang lebih rendah dibandingkan dengan struktur tanpa perkuatan. Keenam, dari empat variasi permodelan plat lantai yang diuji, ketebalan plat lantai 10 cm terpilih sebagai yang optimal. Penggunaan plat lantai ini berhasil mengurangi penurunan menjadi sekitar 0,02 - 0,04 cm serta mampu mencegah potensi runtuhnya bangunan akibat penurunan yang berlebihan. Dengan demikian, penambahan plat lantai menjadi solusi efektif dalam mengatasi dampak likuifaksi dan memperkuat keberlangsungan bangunan tersebut.

SARAN

Ada beberapa saran yang bisa diambil dari hasil penelitian ini. Pertama, mengingat penelitian ini masih terbatas, diharapkan adanya penelitian lebih lanjut yang lebih mendalam dan menyeluruh terkait dampak likuifaksi pada bangunan. Penelitian yang melibatkan berbagai

jenis bangunan yang berada di daerah dengan potensi likuifaksi akan memberikan wawasan yang lebih luas terhadap fenomena ini. Kedua, bagi para peneliti yang berminat melanjutkan studi ini, tugas akhir ini bisa menjadi panduan berharga untuk melakukan analisis struktur yang lebih mendalam. Data dan temuan yang telah dihasilkan dari penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dalam upaya menghadapi tantangan likuifaksi dan perkuatan struktur bangunan. Dengan demikian, kolaborasi antara penelitian ini dan studi masa depan akan membawa pemahaman yang lebih baik mengenai cara-cara efektif untuk melindungi bangunan dari dampak likuifaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Sulistiyo, Wahidin, and Imron, "Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya," *Infratech Build. J.*, pp. 68–73, 2020.
- [2] G. R. F.G, Wahidin, and M. Taufiq, "Perencanaan Pembangunan Drainase di Desa Ciawi Kecamatan Banjarharjo Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, pp. 52–60, 2020.
- [3] M. G. Alfarizi, W. Wahidin, and M. Yunus, "Analisis Perbandingan RAB Metode SNI dan Bow Jalan Rigid Desa Banjarharjo," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [4] R. B. Saputra, Abdul Khamid, and Imron, "Perencanaan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eco-Drainage) di Desa Tiwulandu," *Infratech Build. J.*, pp. 62–67, 2020.
- [5] Wahidin, "Analisis Laju Sedimentasi dan Konservasi di Hulu Waduk Malahayu," *Infratech Build. J.*, pp. 29–35, 2020.
- [6] M. GilangAlfarizi, Wahidin, and M. Yunus, "Analisis Perbandingan RAB Metode SNI dan BOW Jalan Rigid Desa Banjarharjo," *Infratech Build. J.*, pp. 61–66, 2020.
- [7] A. Hamid and H. Wildan, "Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Untuk Peningkatan Ruas Jalan Brebes –Jatibarang Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [8] W. S. N. Wahidin, "Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa Pulosari Kecamatan Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–51, 2020.
- [9] A. Khamid and A. Sodikin, "Identifikasi Kerusakan Jalan pada Jalan Larangan Pamulihan Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [10] M. Yunus, I. Mirajhusnita, A. K. Khamid, and A. Chandra, "Penerapan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dengan Memaksimalkan Potensi Kearifan Lokal melalui Pemberdayaan Masyarakat," *JAMU J. Abdi Masy. UMUS*, vol. 3, no. 02, pp. 95–102, 2023.
- [11] Y. Feriska and A. Unaesih, "Pengaruh Beban Kendaraan terhadap Kerusakan Jalan Pada Ruas Jalan Pebatan - Rengaspendawa di Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 36–42, 2020.
- [12] A. Hamid and A. Sodikin, "Identifikasi Kerusakan Jalan pada Jalan Larangan Pamulihan Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 21–28, 2020.
- [13] W. Sulistiyo and W. Wahidin, "Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya: Pelaksanaan Pembangunan Rumah Layak Huni di Desa Cikuya," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [14] S. Fuaddi and A. Khamid, "Perencanaan Pembangunan Jalan Usaha Tani di Desa Cikakak Kecamatan Banjarharjo," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [15] Wahidin, "Analisis Faktor Penyebab Kerusak Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Desa Cikakak)," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [16] G. R. FG and W. Wahidin, "Perencanaan Pembangunan Drainase di Desa Ciawi Kecamatan Banjarharjo Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [17] Wahidin and Windy, "Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa Pulosari Kecamatan Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 43–51, 2020.
- [18] L. Nurdin and D. A. A. G, "Evaluasi dan Perbaikan Sistem Drainase Serta Pengendalian Banjir Perkotaan (Studi Kasus Limbangan Wetan, Limbangan Kulon, Kelurahan Brebes)," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 11–20, 2020.

- [19] S. Azhari, "Perencanaan Peningkatan Jalan Rigid Pavement pada Ruas Jalan Dusun Longkrang Desa Banjarharjo," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 103–111, 2021.
- [20] S. D. Wahyuni, "Perencanaan Penampungan Air Bersih di Desa Cigadung Kecamatan Brebes Kabupaten Brebes: Perencanaan Penampungan Air Bersih di Desa Cigadung Kecamatan Brebes Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 112–117, 2020.
- [21] A. Nurfajar, Y. Feriska, and M. Yunus, "Perencanaan Perbaikan Jalan Desa Tegalreja," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [22] Wahidin, Imron, and Y. Feriska, "Perencanaan Jembatan Prestressed Sungai Cijalu Kabupaten Cilacap," *Infratech Build. J.*, 2020.
- [23] Wahidin, "Perencanaan Biaya Pengadaan Sumur Bor dalam untuk Distribusi Air Bersih di Desa Cigadung," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [24] H. Kurniawan, Abdul Khamid, and D. D. Apriliano, "Evaluasi dan Rencana Pengembangan Sistem Drainase di Kota Tegal (Studi Kasus di Kecamatan Tegal Barat)," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [25] Justiansyah, A. Khamid, and M. Taufiq, "Analisis Kondisi Permukaan Pekerjaan Jalan Desa Cikakak Dengan Metode PCI dan RCI," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [26] D. Irawan, A. L. Nurdin, A. Khamid, and Y. Feriska, "Model Analisis Pelaksanaan Proyek dengan Metode Critical Path Method (CPM) dan Metode Crashing (Study Kasus pada Pelaksanaan Pekerjaan Peningkatan Jalan Kebandingan – Gembongdadi , Kecamatan Kramat , Kabupaten Tegal) Project Implementation Analysis Mo," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 96–102, 2020.
- [27] I. Nabawi, Y. Feriska, and W. Diantoro, "Analisis Dampak Kerusakan Jalan terhadap Pengguna Jalan dan Lingkungan di Ruas Jalan Pebatan - Rengaspendawa Brebes Impact Analysis of Road Damage on Road Users and the Environment on Jalan Pebatan - Rengaspendawa Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2021.
- [28] G. A. N. Wahidin, "Analisis Laju Sedimentasi dan Konservasi di Hulu Waduk Malahayu," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–35, 2020.
- [29] U. Udin, A. Khamid, M. Taufiq, and D. D. Apriliano, "Optimasi Debit Air Saluran Irigasi pada Bendung Sungapan Kecamatan Pemalang Kabupaten Pemalang Studi Kasus Saluran Induk Simangu 844 , 74 Ha Optimization of Water Discharge of Irrigation Canals at Sungapan Weir , Pemalang District , Pemalang Regency Case ," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 42–48, 2021.
- [30] W. Diantoro, "Studi Mengenai Persepsi Masyarakat terhadap Kegiatan Pembangunan Jalan Desa di Banjarlor Kabupaten Brebes," *Tesis Univ. Islam Sultan Agung Semarang*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.bioscientifica.com/view/journals/eje/171/6/727.xml>
- [31] A. Khamid, "Pengaruh Genangan Air Hujan terhadap Kinerja Campuran Aspal Concere - Wearing Course (AC - WC)," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 7, pp. 5–24, 2019.
- [32] H. Wibowo, Y. Feriska, A. L. Nurdin, D. D. Apriliano, and M. Yunus, "Studi Kelayakan Investasi Properti Pembangunan Perumahan Griya Sengon Indah 3 di Desa Sengon Kecamatan Tanjung Feasibility Study of Property Investment in Griya Sengon Indah 3 Housing Development in Sengon Village , Tanjung District," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 49–55, 2022.
- [33] S. Azhari, Y. Feriska, A. L. Nurdin, and D. D. Apriliano, "Studi Implementasi Pemakaian Kalsifloor Pengganti Cor Beton pada Bangunan Gedung RSIA Permata Insani Kabupaten Brebes Study on the Implementation of the Use of Calcifloor Substitute for Cast Concrete in the Building of Rsia Permata Insani Building , Brebe," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 56–64, 2021.
- [34] M. G. Alfarizi and Wahidin, "Analisis Tingkat Kerusakan Jalan Akibat Volume Kendaraan pada Perkerasan Rigid di Ruas Jalan Pantura Tegal - Pemalang Kabupaten Tegal Analysis of the Level of Road Damage Due to Vehicle Volume on Rigid Pavement on Jalan Pantura Tegal - Pemalang Kabupaten," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–

- 13, 2021.
- [35] A. Khamid and M. A. Izazi, "Pengaruh Genangan Air Hujan terhadap Kinerja Campuran Aspal Concere-Wearing Course (Ac-Wc)," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 7, pp. 1-14, 2019.
- [36] S. Fuaddi and Wahidin, "Studi Perbandingan Harga Satuan Pekerjaan Proyek Pembangunan Gedung Puskesmas Kedungbanteng dengan Metode Analisa Bow, SNI, dan Lapangan Comparative Study of Unit Price of Work Project Construction of Kedungbanteng Puskesmas Building with Bow, SNI, and Fi," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 14-21, 2021.
- [37] A. Khamid and H. Wildan, "Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) untuk Peningkatan Ruas Jalan Brebes-Jatibarang Kabupaten Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 01, 2020.
- [38] A. Khamid, Y. Feriska, and W. Diantoro, "Analisis Kinerja Lalu Lintas Simpang Tiga Tak Bersinyal (Studi Kasus Simpang Tiga Jalan Raya Klampok Km 180 + Ruas Jalan Klampok - Banjartama , Kabupaten Brebes) Traffic Performance Analysis of Simpang Tiga Tak Bersinyal (Case Study of Simpang Tiga Jalan," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 35-41, 2021.
- [39] B. S. Pangestu and Wahidin, "Studi Tentang Kenyamanan Pejalan Kaki terhadap Pemanfaatan Trotoar di Kota Tegal (Studi Kasus Jalan RA Kartini Kota Tegal) Study on Pedestrian Comfort on Sidewalk Utilization in Tegal City (Case Study of RA Kartini Street , Tegal City)," *Infratech Build. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 22-27, 2021.
- [40] Sultoni and Wahidin, "Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sapphire Regency Desa Pulosari Kecamatan Brebes," *Infratech Build. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 43-51, 2020.