

Behavior of Cakar Ayam Modifikasi (CAM) foundation on soft soil with LISA V.8 FEA

Aco Wahyudi Efendi¹, Novia Safitri²

¹ Civil Engineering, Tridharma University, Balikpapan,

² Civil Engineering Student at Samarinda State Polytechnic

Email: ¹ aw.efendizoi8@gmail.com, ² noviasftr23@gmail.com

Artikel Informasi

Riwayat Artikel

Diterima, 15 Februari 2023

Direvisi, 03 Maret 2024

Disetujui, 12 Maret 2024

Kata Kunci:

CAM

FEA

LISA

Lendutan

Tegangan

Keywords:

Behavior

CAM

LISA

Stress

Deflection

ABSTRAK

Pada beberapa lokasi yang ditinjau menjadi lahan stockyard dan dermaga penunjang di Kawasan Ibu Kota Negara Nusantara setelah dilakukan penyelidikan tanah didapatkan jenis tanah permukaan berupa tanah lunak dan diperlukan penanganan khusus. Fondasi sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), ini telah digunakan diberbagai lokasi dengan kondisi tanah lunak di Indonesia. Penelitian ini melakukan analisis numerikal dengan menggunakan program Finite Element Method (FEM) LISA V.8 (Lisensi) dengan pengaruh beban gardar truk yang bekerja pada plat lantai dari system CAM. Dari hasil analisis numerik perilaku yang terjadi pada system Cakar Ayam Modifikasi (CAM), didapatkan terjadi perubahan posisi tegangan yang terjadi Ketika dilakukan Batasan kondisi dengan memberikan penurunan hingga 0.9 m dengan tanpa kondisi tersebut, dimana perubahan tegangan turun hingga rasio 4.25 pada area plat dan terjadi kenaikan pada sisi lainnya hingga rasio 1.02, sedang pada elemen Cakar Ayam Modifikasi (CAM) terjadi penurunan tegangan pula sebesar 2.26.

ABSTRACT

In some of the locations reviewed to be stockyard land and supporting docks in the Archipelago's National Capital Region after soil investigation, it was found that the surface soil type was soft soil and required special handling. The Cakar Ayam Modifikasi (CAM) foundation system has been used in various locations with soft soil conditions in Indonesia. This study conducted numerical analysis using the Finite Element Method (FEM) program LISA V.8 (License) with the influence of truck axle loads acting on the floor plate of the CAM system. From the results of numerical analysis of the behavior that occurs in the Cakar Ayam Modifikasi (CAM) system, it is found that there is a change in the position of the stress that occurs when the limitation condition is carried out by providing a decrease of up to 0.9 m with no such condition, where the stress change decreases to a ratio of 4.25 in the plate area and an increase on the other side to a ratio of 1.02, while in the Modified Chicken Claw (CAM) element there is also a decrease in stress of 2.26..



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Penulis Korespondensi:

Aco Wahyudi Efendii

Tridharma University, Balikpapan

Email: aw.efendizoi8@gmail.com

PENDAHULUAN

Pembangunan di Kawasan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara, semakin pesat dan membutuhkan logistik material konstruksi yang cukup signifikan, sehingga dibutuhkan sarana masuk ke Kawasan melalui jalur perairan, untuk mengakomodir itu diperlukan beberapa Pelabuhan dan dermaga untuk dapat menunjang sebagai pintu masuk logistik material konstruksi tersebut masuk ke dalam kawasan. Berbagai kegiatan pembangunan di kawasan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur terus berlangsung. Cakupan wilayah IKN Nusantara meliputi wilayah daratan dan lautan dengan total keseluruhan 324.331 hektar. Wilayah darat memiliki luas kurang lebih 256.142 hektar area (ha). Sedangkan wilayah perairan laut memiliki luas kurang lebih 68.189 hektar area (ha). Dalam hal pembangunan infrastruktur jalan di sekitar kawasan Ibu Kota Negara (IKN) juga sudah mulai dilakukan dalam upaya mendukung konektivitas jaringan jalan wilayah pusat IKN. Untuk itu kegiatan pengadaan material dan barang ke dalam kawasan IKN pun perlu ditunjang dengan fasilitas distribusi barang yang memadai agar siklus rantai pasok menuju IKN dapat berjalan dengan lancar, salah satunya adalah dengan dibangunnya pelabuhan dermaga logistik.

Pada beberapa lokasi yang ditinjau menjadi lahan stockyard dan dermaga penunjang setelah dilakukan penyelidikan tanah didapatkan jenis tanah permukaan berupa tanah lunak dan diperlukan penanganan khusus.

Salah satu penanganan adalah menggunakan fondasi cakar ayam modifikasi (CAM) untuk dapat diterapkan di area stockyard dikarenakan perlunya lahan yang siap guna untuk menunjang mobilisasi logistik di Kawasan IKN dan juga tempat penyimpanan sementara material konstruksi.

Sistem Cakar Ayam, yang ditemukan oleh Sedyatmo pada tahun 1961, telah berkembang menjadi Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM). Bentuk sistem diubah dengan mengganti pipa beton cakar dengan pipa baja galvanis dan beton yang lebih ringan. Metode Elemen Hingga, analisis numeris, adalah perubahan tambahan. Pada tahun 2005, sistem ini menjadi jalan uji coba di Pantura (Pamanukan-Indramayu), pertama kali digunakan untuk detour di Tol Sedyatmo. Sistem CAM ini telah diuji di lapangan pada jalan tol Waru, Sidoarjo, Surabaya, dan Seksi IV di Makasar. Spesifik dilakukan di Bojonegoro, Jawa Timur, di tanah yang akan digunakan untuk ekspansi. Dengan meninjau perilaku model Sistem CAM, kemampuan, pembebanan, dan perilaku saat tanah ekspansif, sistem CAM ini diharapkan dapat mengatasi masalah perkerasan jalan pada tanah ekspansif (Suhendro & Hardiyatmo, 2014).

Fondasi system ini telah digunakan diberbagai lokasi dengan kondisi tanah lunak di Indonesia, salah satunya di area Container Yard Ex. Semen Tonasa Pelabuhan Trisakti Cabang Banjarmasin, dengan system CAM didapatkan nilai Differential Settlement yang cukup kecil dan bisa diaplikasikan di lapangan (Iswandy & Garside, 2021) (Analisa Differential Settlement Konstruksi Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Container Yard 4 Pelabuhan Trisakti Banjarmasin)

Untuk penelitian ini melakukan analisis numerikal dengan menggunakan program Finite Element Method (FEM) LISA V.8 (Lisensi) dengan pengaruh beban gardar truk yang bekerja pada plat lantai dari system CAM.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan parameter tanah yang berasal dari penyelidikan tanah di lokasi rencana Pembangunan dermaga logistik di Kawasan Ibu Kota Negara Nusantara, dari hasil penyelidikan tanah dilakukan permodelan system Cakar Ayam Modifikasi (CAM) dengan menggunakan program Finite Element Method (FEM) LISA V.8 (Lisensi). Lokasi pekerjaan Perencanaan Teknik Dermaga Logistik Pembangunan Ibu Kota Negara berada di Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Secara garis besar, data yang dominan adalah mengumpulkan parameter tanah dan juga parameter material yang digunakan dalam system Cakar Ayam Modifikasi(CAM) dan melanjutkan dengan melakukan permodelan geometri system Cakar Ayam Modifikasi(CAM) tersebut.

Tanah Lunak

Tanah lunak memiliki kuat geser rendah, sehingga jika beban yang melintas di atasnya terlalu besar, tanah akan mudah bergeser. Tanah lunak juga mudah turun karena kompresibilitasnya yang tinggi. Tanah lunak memiliki daya dukung tanah yang rendah, jadi sebelum tanah lunak digunakan sebagai subgrade atau tanah dasar untuk bangunan atau jalan, perlu dilakukan perbaikan tanah. Lempung lunak adalah jenis tanah lunak.

Mineral-mineral lempung ada di tanah lunak dan memiliki banyak air. Indonesia terdiri dari tanah lunak, yang tersebar di kota-kota besar dan pusat pertumbuhan ekonomi, dan mencakup lebih dari 20 juta hektar, atau 10% dari seluruh tanah daratan negara. Ini menunjukkan bahwa Indonesia tidak lepas dari tanah lunak(Setiawan & Djarwanti, 2018).

Cakar Ayam Modifikasi

Sistem cakar ayam modifikasi didasarkan pada sistem cakar ayam Sedyatmo yang dibuat pada tahun 1961. Sistem cakar ayam tradisional menggunakan pelat beton bertulang dengan tebal 10 hingga 17 cm dan pipa cakar (beton) berdiameter 120 cm, tebal 8 cm, dan panjang 150 hingga 200 cm, yang ditanam pada lapisan bawah tanah. Pada bagian bawah pelat beton terdapat lapisan beton kering setebal lebih dari 10 cm dan lapisan sirtu setebal lebih dari 30 cm. Lapisan

ini berfungsi sebagai perkerasan sementara selama proses operasi dan memastikan bahwa permukaan tanah dasar tetap rata saat pelat beton dipasang.

Cakar ayam modifikasi berubah menjadi baja dengan lapisan anti karat daripada beton. Koperan, pelat penutup tepi vertikal yang digunakan dalam sistem CAM, memiliki tinggi 40 hingga 50 cm dan tebal 10 hingga 12 cm. Koperan memperkuat tepi dan mencegah beban kendaraan mengalir ke tanah dasar (Ariseno, 2018; Ikbar, 2020; Iswandy & Garside, 2021; Nopriadi, 2021; Notonegoro et al., 2023; Sandi, 2018; SETIAWAN, 2018; Wahyono, 2017; Yudandi, 2018).



Gambar 2. Aplikasi lapangan sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM)

Metode Elemen Hingga

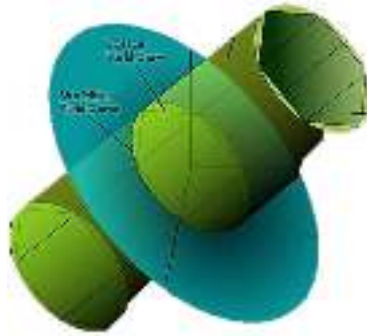
Metode elemen hingga (FEM) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah analisis teknis. Metode elemen hingga menghasilkan persamaan sistem linier atau nonlinier dengan menggabungkan beberapa konsep matematika. Dalam kebanyakan kasus, jumlah persamaan yang dihasilkan sangat besar, dapat mencapai lebih dari 20.000 persamaan. Akibatnya, metode ini tidak praktis kecuali jika menggunakan komputer yang memadai.

Metode elemen hingga menggunakan pendekatan diskritisasi elemen untuk menyelesaikan masalah pencarian perpindahan titik simpul/sambungan/kisi dan gaya-gaya struktur. Persamaan elemen diskrit terkait dengan metode matriks untuk analisis struktur dan hasil yang diperoleh identik dengan analisis klasik untuk struktur. Diskritisasi dapat dilakukan dengan menggunakan elemen satu dimensi (elemen garis), dua dimensi (elemen bidang), atau tiga dimensi (elemen volume/kontinum). Pendekatan tersebut menggunakan elemen kontinum untuk menentukan pendekatan pemecahan masalah yang lebih mendekati kebenaran (Efendi, 2015, 2022a, 2023b). (FEM AWE)

Tegangan Von Mises

Dalam ilmu material dan teknik hasil kriteria Von Mises dapat juga diformulasikan dalam bentuk tegangan Von Mises atau tegangan tarik yang setara σ_v , nilai tegangan skalar yang dapat dihitung dari tegangan tensor s . Dalam hal ini, material dikatakan mulai menghasilkan setelah diperkirakan tegangan Von Mises mencapai nilai kritis dikenal sebagai kekuatan luluh S_y . Tegangan Von Mises digunakan untuk memprediksi menghasilkan bahan

di bawah kondisi beban dari hasil tes tarik uniaksial sederhana. Tegangan Von Mises memenuhi properti yang menyatakan dua tegangan dengan energi distorsi sama-sama memiliki tegangan Von Mises sesuai gambar 3.



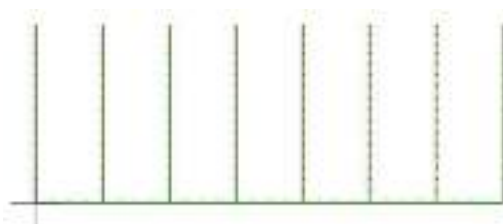
Gambar 3. Kriteria Tegangan menurut Von Mises-Tresca

Menurut Von Mises kriteria hasil adalah independen dari tegangan pertama invarian, ini berlaku untuk analisis deformasi plastik untuk bahan yang ulet seperti logam, seperti timbulnya hasil untuk materi ini tidak tergantung pada komponen hidrostatik dari tegangan tensor (Efendi, 2023).

Perangkat Lunak

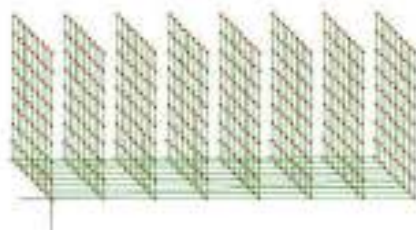
LISA FEA V.8

LISA adalah program analisis elemen yang sangat populer yang digunakan untuk memperkirakan kenaikan suhu untuk tiga model penukar panas yang berbeda. Model elemen garis, cangkang, dan padat adalah tiga jenis model yang paling sederhana dan mudah dibangun. Untuk model elemen garis, LISA menyediakan menu bentuk elemen dan geometri struktur yang sering digunakan; pengguna hanya perlu menambahkan dimensi elemen dalam satu kotak dialog dan konduktivitas termal di kotak dialog lain. Gambar 4 menunjukkan garis model di jendela pra-pemrosesan LISA setelah meshing. Karena keterbatasan jumlah node yang disediakan, permodelan garis ini sederhana dan mudah, yang membuat pemrosesan analisis lebih mudah, terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Permodelan elemen geomteri dengan metode garis (Couch, 2013)

Peneliti dapat memilih untuk memberi kode warna pada sirip dan pelat dasar model, seperti yang ditunjukkan di atas. Ini merupakan keputusan peneliti dalam menggunakan dan memilih elemen permodelan. Konstruksi pelat adalah model paling sederhana berikutnya, yang dipilih untuk meminimalkan proses analisis FEM karena jumlah node dan kemampuan perangkat lunak komputer., gambar 5.(Efendi, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e, 2023a, 2023c).



Gambar 5. Permodelan elemen geometri dengan metode pelat (Couch, 2013)

Metode Analisis

Perhitungan analisis numerikal untuk mengevaluasi perilaku yang terjadi pada Cakar Ayam Modifikasi(CAM) terhadap beban yang diberikan, dan mendapatkan hasil tegangan yang terjadi pada struktur Cakar Ayam Modifikasi(CAM) dan juga perilaku penurunan yang terjadi pada elemen tanah di bawah system Cakar Ayam Modifikasi(CAM) maupun pada elemen Cakar Ayam Modifikasi(CAM) itu sendiri.

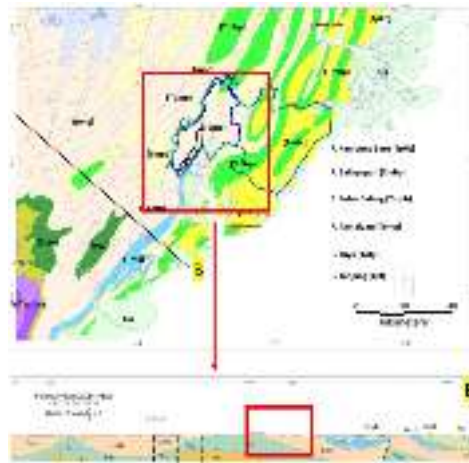
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan dermaga logistik dan material sebagai penunjang Pembangunan infrastruktur IKN direncanakan berada tidak jauh dari Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) IKN Nusantara di wilayah Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara terlihat pada gambar 6. Adapun secara geografis, Kecamatan Sepaku. Kapasitas ponton yang bisa sandar adalah • LOA 300 FEET atau 91,440 meter • Breadth 80 FEET atau 24.384 meter • Depth 18 FEET atau 5.486 meter Kapasitas Stok Yard yaitu 2 ha Beban Gandar Maksimum yang melewati jalan akses 10 ton.



Gambar 6. Lokasi Rencana Pembangunan Dermaga Logistik

Kondisi geologi di Kecamatan Penajam Paser Utara berdasarkan peta geologi bersistem Indonesia skala 1:250.000 yang tercakup dalam administrasi Kabupaten Penajam Paser Utara, daerah pengkajian terdiri dari 7 formasi (17). Bahan induk pembentuk tanah terdiri dari batuan sedimen masam dan non masam, batuan volkan serta bahan endapan aluvium. Uraian formasi dan bahan induk yang dijumpai di lokasi Kecamatan Babulu dan Penajam adalah Formasi Pamaluan (Tomp), Batupasir dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau. (Tomp), Batulempung dan serpih dengan sisipan napal, batupasir dan batugamping. (Tomp/Tom), Batupasir dgn sisipan batulempung, serpih, napal, batulanau, tuf, batubara, oksida besi dan lensa batugamping, batulempung bersisipan batupasir. Batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping, dan batulanau, berlapis sangat baik. Tebal lapisan antara 1 – 2 m. Batulempung tebal rata-rata 45 cm. Serpih kelabu kecoklatan sampai kelabu tua, padat, tebal sisipan antara 10 – 20 cm. Batugamping kelabu, pejal, berbutir sedang sampai kasar, setempat berlapis dan mengandung foraminifera besar. Tebal formasi lebih kurang 2000 m terlihat pada gambar 7.



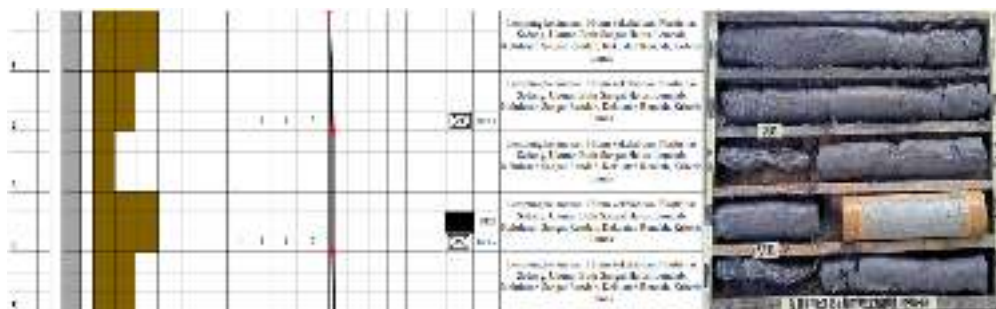
Gambar 7. Tinjauan Geologi Regional Sekitar IKN

Lokasi penyelidikan yang ditinjau pada penelitian ini adalah menggunakan data penyelidikan tanah pada BH 01 dan BH 02, terlihat lokasi pengujian pada gambar 8.



Gambar 8. Lokasi penyelidikan tanah

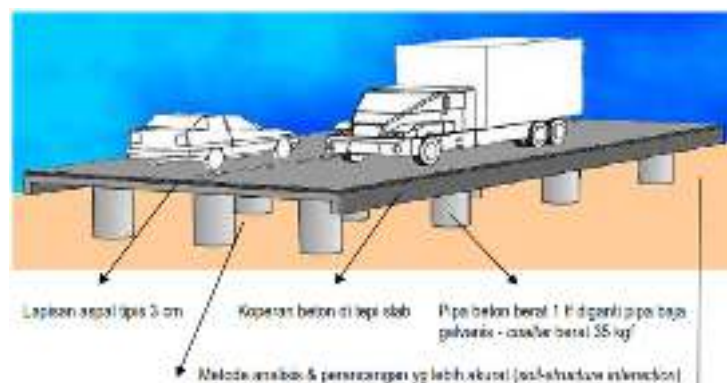
Pada titik BH 01, berlokasi ditepi laut, survey bor diatas bagan/lantai kerja pada kedalaman tanah +/- 3m tergantung pasang surut air laut. Memiliki jenis tanah lempung kelanauan yang berwarna hitam kekelabuan, pada kedalaman 12-18m tanah berkriteria keras dan untuk tanah berkriteria sangat keras dengan nilai SPT >30 terdapat pada kedalaman 18-31m, dan batu lempung dengan nilai SPT >60 pada kedalaman 32-36m dari dasar laut. Pada titik BH 02, berlokasi ditepi laut, survey bor diatas bagan/lantai kerja pada kedalaman tanah +/- 3m tergantung pasang surut air laut. Memiliki jenis tanah lempung kelanauan yang berwarna hitam kekelabuan, pada kedalaman 12-18m tanah berkriteria keras dan untuk tanah berkriteria sangat keras dengan nilai SPT >30 terdapat pada kedalaman 18-34m, dan batu lempung dengan nilai SPT >60 pada kedalaman 34-38m dari dasar laut.



Gambar 9. Hasil jenis tanah di permukaan

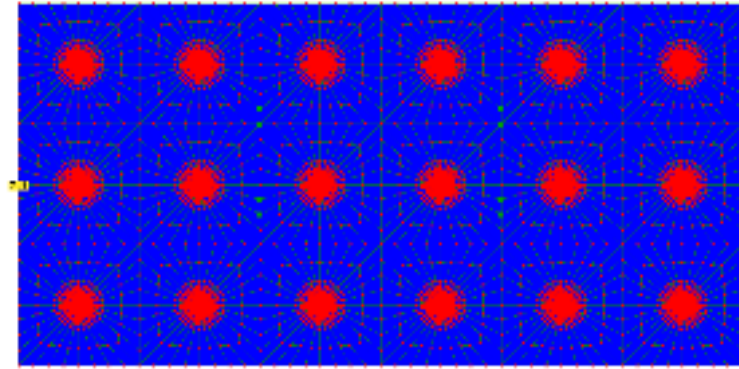
Permodelan

Permodelan yang dilakukan adalah dengan meletakkan sistem Cakar Ayam Modifikasi, diatas tanah eksisting dengan nilai NSPT adalah 2 dan diasumsikan terjadi penurunan hingga 90 cm dimana untuk konstruksi sistem Cakar Ayam Modifikasi masih diijinkan dengan asumsi usia penurunan tersebut adalah 15 tahun, dengan konsep desain terlihat pada gambar 10.

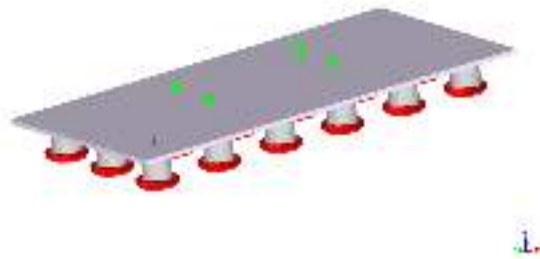


Gambar 10. Konsep desain Cakar Ayam Modifikasi (CAM)

Adapun dimensi Cakar Ayam Modifikasi (CAM) menggunakan material beton dengan bentuk sumuran diameter 1 m setebal 0.09 m, interval antar Cakar Ayam Modifikasi (CAM) adalah 2,5 m dengan plat lantai setebal 0.17 m dengan lebar adalah 7.5 m sepanjang 15 m, terlihat pada gambar 11. Dengan model 3 dimensi seperti gambar 12.



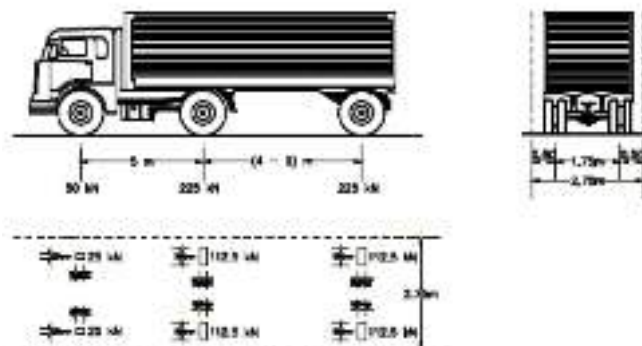
Gambar 11. Tipikal tampak atas Cakar Ayam Modifikasi (CAM)



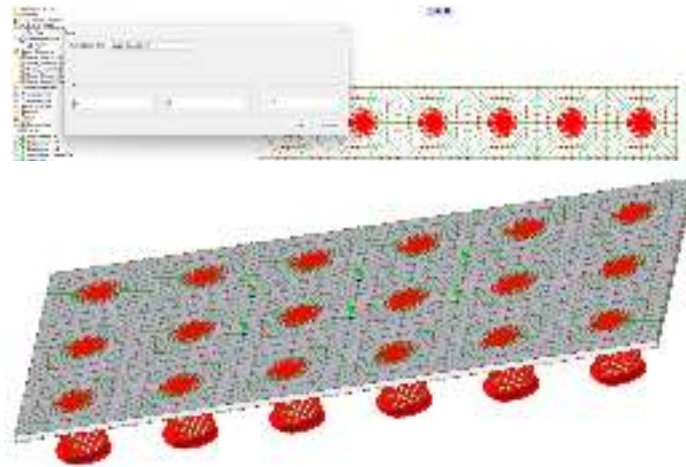
Gambar 12. Permodelan 3D Cakar Ayam Modifikasi (CAM) (Sumber LISA V.8)

Pembebanan

Untuk pembebanan menggunakan SNI 1725 2016, dengan total pembebanan truk sebesar 500 kN, masih sama dengan RSNI-To2 2005 dalam hal pembebanan, terdiri dari kendaraan truk dengan susunan dan berat gandar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Berdasarkan bidang kontak antara roda dan lantai, berat dari tiap-tiap gandar dibagi menjadi dua beban titik yang sama besar. Untuk mempengaruhi arah memanjang penampang plat, jarak antara dua gandar dapat diubah dari 4 hingga 9 meter. Pada penelitian ini antar gandar ditentukan menjadi per 5 meter tiap gandar seperti pada gambar 14, dengan menyesuaikan nilai beban.



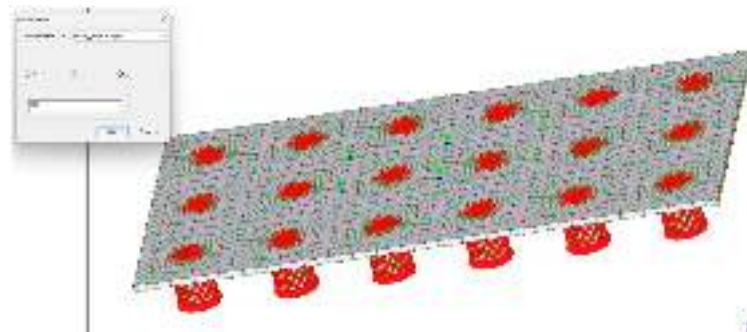
Gambar 13. Beban T “Truk”



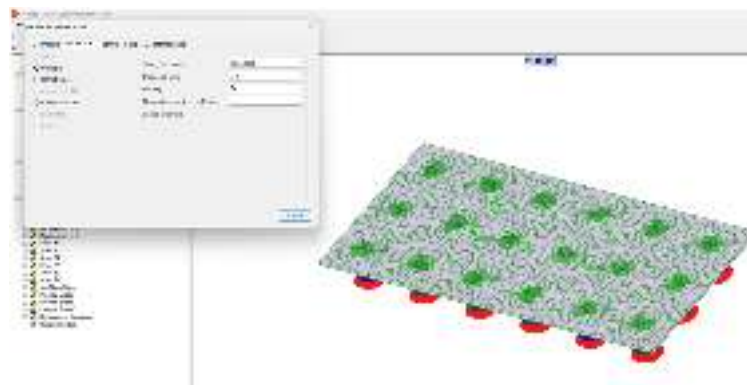
Gambar 14. Penempatan titik beban gandar Truk

Kondisi Batas

Kondisi batas diterapkan pada permodelan system Cakar Ayam Modifikasi dan diasumsikan terjadi penurunan pada elemen sistem Cakar Ayam Modifikasi arah z hingga 0.9 m dan beberapa segmen Tengah antar sistem Cakar Ayam Modifikasi terjadi penurunan hingga 0.9 m, terlihat pada gambar 15 dimana untuk konstruksi sistem Cakar Ayam Modifikasi masih diijinkan dengan asumsi usia penurunan tersebut adalah 15 tahun, dengan nilai parameter material Cakar Ayam Modifikasi (CAM) dan plat adalah sama dengan menggunakan f_c' 30 MPa untuk mutu beton yang digunakan, terlihat pada gambar 16.



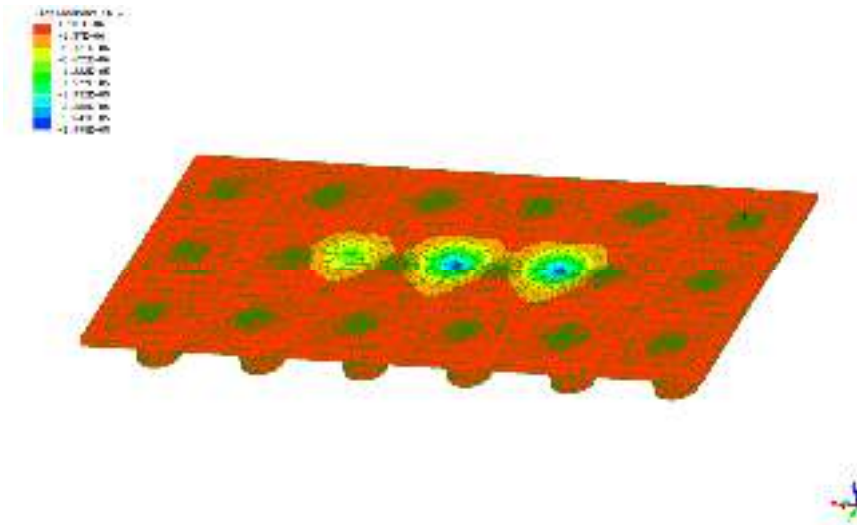
Gambar 15. Kondisi batas penurunan



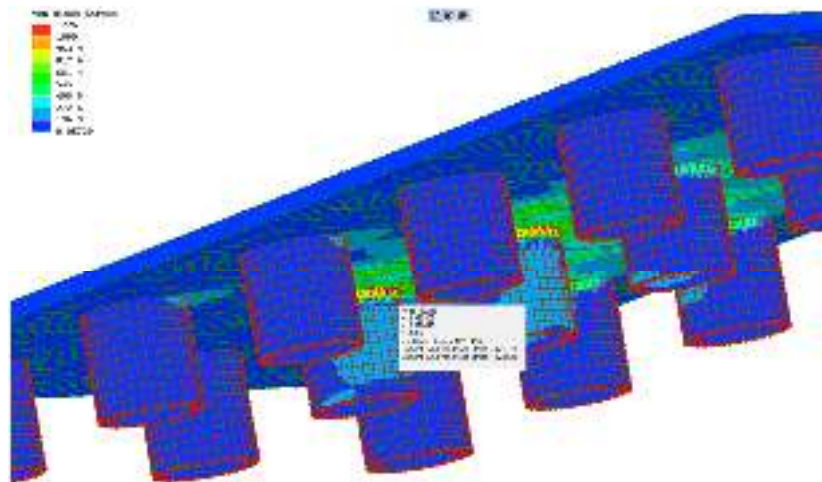
Gambar 16. Data material yang digunakan

Perilaku Yang Terjadi

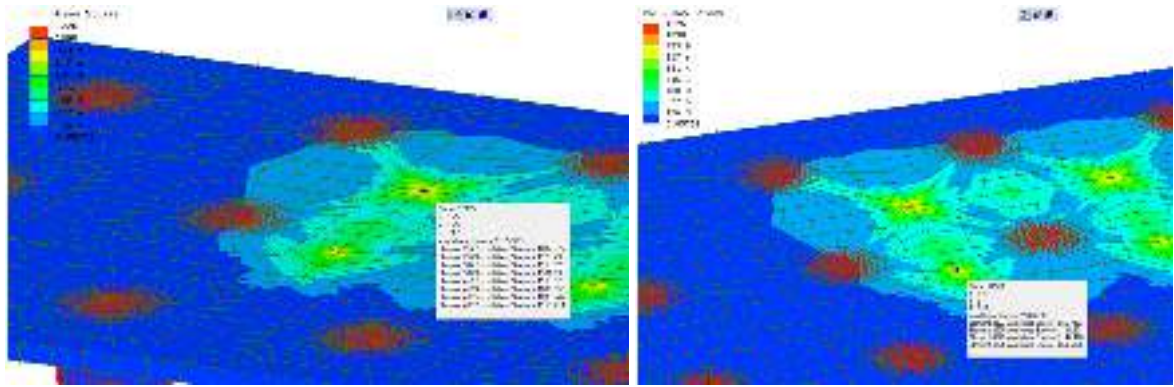
Permodelan terlebih dahulu dilakukan analisis tanpa menggunakan kondisi batas penurunan hingga 0.9 m, dimana terjadi tegangan dominan di area posisi ban kendaraan dengan variasi nilai beban gandar sesuai gambar 13 dan 14, dan defleksi vertikal yang terjadi adalah 0.000029 m pada area posisi ban kendaraan terlihat pada gambar 17, terjadi tegangan 1105.38 kN/m² terlihat pada gambar 18, sedang tegangan maksimum terjadi pada elemen Sistem Cakar Ayam Modifikasi(CAM) sebesar 1226.42 kN/m² dimana tegangan batas ijin untuk beton dengan nilai $f_c' = 30$ MPa adalah $0,63\sqrt{f_c'}$ adalah 3286.34 kN/m² sesuai dengan gambat 19.



Gambar 17. Defleksi yang terjadi pada plat

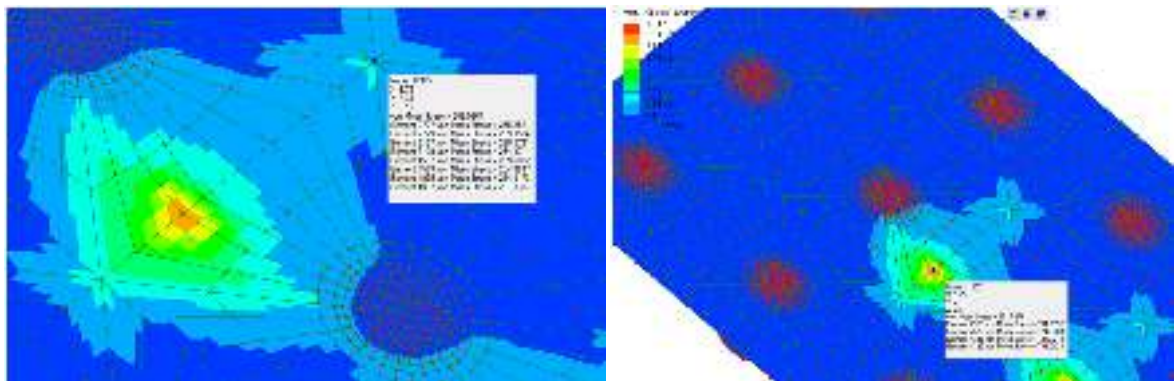


Gambar 18. Tegangan yang terjadi pada Cakar Ayam Modifikasi(CAM)

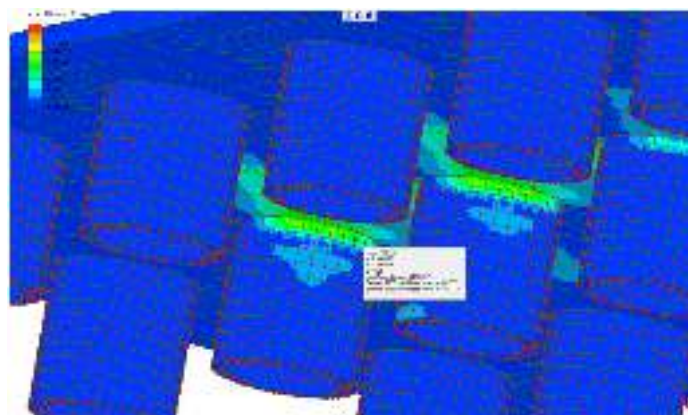


Gambar 19. Tegangan yang terjadi pada plat

Pada saat diterapkan kondisi batas dengan terjadi penurunan vertical sebesar 0.9 m pada kaki sistem Cakar Ayam Modifikasi. Dan beberapa area pada sisi Tengah plat, tegangan yang terjadi pada plat masih dominan di area titik ban kendaraan namun terjadi pergeseran tegangan maksimum dari awal pada node 12127 menjadi node 11907 yaitu sebesar 1017.2 kN/m² dimana tegangan batas ijin untuk beton dengan nilai f_c' 30 MPa adalah $0,63\sqrt{f_c'}$ adalah 3286.34 kN/m² sesuai dengan gambar 20. Dan pada area elemen Cakar Ayam Modifikasi terjadi penurunan tegangan menjadi 543.035 kN/m² sesuai gambar 21.



Gambar 20. Tegangan yang terjadi pada plat



Gambar 21. Tegangan yang terjadi pada Cakar Ayam Modifikasi(CAM)

KESIMPULAN

Dari hasil analisis numerik perilaku yang terjadi pada system Cakar Ayam Modifikasi(CAM), didapatkan terjadi perubahan posisi tegangan yang terjadi Ketika dilakukan Batasan kondisi dengan memberikan penurunan hingga 0.9 m dengan tanpa kondisi tersebut, dimana perubahan tegangan turun hingga rasio 4.25 pada area plat dan terjadi kenaikan pada sisi lainnya hingga rasio 1.02, sedang pada elemen Cakar Ayam Modifikasi(CAM) terjadi penurunan tegangan pula sebesar 2.26. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat memberikan permodelan terhadap perilaku kekakuan Cakar Ayam Modifikasi(CAM) pada tanah, dikarenakan keterbatasan program LISA V.8 dalam memodelkan kekakuan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariseno, N. M. (2018). Pengaruh Variasi Jarak pada Cakar Ayam Modifikasi Pola Segi Empat dengan Pembebanan Kelompok (Truk) menggunakan Metode Elemen Hingga. [digilib.uns.ac.id. https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/58490/](https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/58490/)
- Efendi, A. W. (2015). Behavior of Steel Portals with Semi Rigid Connections Against Lateral Loads. Study of Structural Engineering, Civil Engineering Master Program, Graduate Program Lambung Mangkurat University. <http://digilib.ulm.ac.id/cabang/index.php?p=s>
- Efendi, A. W. (2022a). Behavior Analysis of Building Structures After a Fire with FEA LISA V. 8. Kurva S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEKNIKD/article/view/6413>
- Efendi, A. W. (2022b). Behavior Analysis of Building Structures After a Fire with FEA LISA V. 8. Kurva S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEKNIKD/article/view/6413>
- Efendi, A. W. (2022c). Behavior of railroad bearing due to temperature and load using LISA FEA. Journal of Railway Transportation and Technology. <https://jrtr.org/index.php/jrtr/article/view/1>
- Efendi, A. W. (2022d). Noise exposure impact zone hue modeling using LISA FEA V. 8. Teknik: Jurnal Ilmu Teknik Dan <http://journal.stiestekom.ac.id/index.php/TEKNIK/article/view/153>
- Efendi, A. W. (2022e). Repair analysis of Pinang Bridge oprit subsidence with mortar form using LISA FEA. JOURNAL OF RESEARCH AND INOVATION IN CIVIL ENGINEERING AS APPLIED SCIENCE (RIGID), 1(2), 24-30.
- Efendi, A. W. (2023a). Behavior of Railroad Bridge Girders Due to Brake Loads with LISA V. 8 FEA. ... Conference on Railway and Transportation (ICORT <https://www.atlantispress.com/proceedings/icort-22/125985594>
- Efendi, A. W. (2023b). Computing steel frame analysis of behavior semi-rigid connection. In Computing. [researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Aco-Efendi/publication/365344223_Computing_steel_frame_analysis_of_behavior_semiigid_connection/links/63708e4054eb5f547cca827d/Computing-steel-frame-analysis-of-behavior-semi-rigid-connection.pdf](https://www.researchgate.net/publication/365344223_Computing_steel_frame_analysis_of_behavior_semiigid_connection/links/63708e4054eb5f547cca827d/Computing-steel-frame-analysis-of-behavior-semi-rigid-connection.pdf)
- Efendi, A. W. (2023c). PEMODELAN PENURUNAN TANAH DI IBU KOTA NEGARA NUSANTARA MENGGUNAKAN ANALISIS NUMERIK METODE ELEMEN HINGGA LISA V. 8. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil <https://www.ejournal.warmadewa.ac.id/index.php/paduraksa/article/view/5643>
- Ikbar, F. (2020). Studi Eksperimental Penurunan Model Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Pada Tanah Gambut Di Bawah Timbunan. [repository.uir.ac.id. https://repository.uir.ac.id](https://repository.uir.ac.id)

/8620/

- Iswandy, W., & Garside, A. K. (2021). Analisa Differential Settlement Konstruksi Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Container Yard 4 Pelabuhan Trisakti Banjarmasin. Prosiding SENTRA (Seminar <http://research-report.umm.ac.id/index.php/sentra/article/view/3739>
- Nopriadi, N. (2021). Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode Beams On Elastic Foundation. repository.uir.ac.id. <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/9559>
- Notonegoro, A., Purba, A., & Despa, D. (2023). Penggunaan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) pada Area Gerbang Tol IC Musi Landas Jalan Tol Kayu Agung–Palembang–Betung, Sumatera Selatan. Seminar Nasional Insinyur <https://snip.eng.unila.ac.id/ojs/index.php/snip/article/view/398>
- Sandi, A. R. (2018). Pengaruh Variasi Jarak pada Cakar Ayam Modifikasi Pola Segiempat Menggunakan Metode Elemen Hingga. digilib.uns.ac.id. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/62945/>
- Setiawan, B., & Djarwanti, N. (2018). PEMBEBANAN TUNGGAL MODEL CAKAR AYAM MODIFIKASI (CAM) POLA SEGIEMPAT PADA VARIASI JARAK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA. Matriks Teknik Sipil. <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/36543>
- SETIAWAN, D. (2018). TUGAS AKHIR PENINGKATAN JALAN NASIONAL MENGGUNAKAN STRUKTUR PONDASI CAKAR AYAM MENERUS DI RUAS JALAN BATAS BOJONEGORO repository.narotama.ac.id. <http://repository.narotama.ac.id/id/eprint/544>
- Suhendro, B., & Hardiyatmo, H. C. (2014). Sistem Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Sebagai Alternatif Solusi Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak, Ekspansif dan Timbunan. UGM Press-Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Wahyono, I. (2017). Analisis Perbandingan Pemakaian Struktur Pada Tanah Lunak Antara Piled Slab Dan Cakar Ayam Modifikasi Dari Segi Biaya Dan Waktu. Kasus: Relokasi Jalan Tol repository.untag-sby.ac.id. <http://repository.untag-sby.ac.id/581/>
- Yudandi, L. A. (2018). Analisis Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Jarak Cakar Pola Segitiga menggunakan Metode Elemen Hingga. digilib.uns.ac.id. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/58482/6349>, BSI Standards. *Code of Practice for Maritime Structures*. ritish: The British Standards Institution, 2000.
- ASTM. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete C597-09*. America: ASTM, 2009.
- Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318. *ASTM C597 – 09 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. USA: ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete, 2009.
- Couch, Charles R. *Comparative analysis of a heat sink using three different finite element models and validated experimentally*. USA: Consulting Engineer, RF and Microwave Components and Systems, 2013.
- Efendi, A W. *Audit Forensik Bangunan Gedung Balai Wilayah Sungai Provinsi Kalimantan Timur*. Balikpapan: CV. Quantum Consultant, 2020.
- Efendi, Aco Wahyudi. “nalysis Metode Pelaksanaan Retrofitting Pada Bangunan CSF Kariangau Balikpapan.” *Jurnal Penelitian Teknik Universitas Tridharma Balikpapan*, 2017.
- Efendi, AW. *Investigasi dan Assesment Audit Building pada Gedung D Komplek Kantor DPRD Provinsi Kalimantan Timur*. Balikpapan: CV. Quantum Consultant, 2020.
- Energy, Innova Solar. *Analisi FEM statico – lineare dei componenti strutturali critici del sistema cogenerativo a concentrazione*. Spain: Innova Solar Energy, 2013.

- Haryadi, Gunawan Dwi. "Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460." *Rotasi*, 2006: 1-8.
- Khoeri, Heri. "NON-DESTRUCTIVE TEST TERHADAP SEMI DESTRUCTIVE TEST PADA SHEAR." *Jurnal Konstruksia* , 2016: 1-12.
- Logan, Daryl L. *A first course in the finite element method*. Boston, Massachusetts, Amerika: Cengage Learning, 2011.
- OCDI. *Technical Standards for Port and Harbor Facilities in Japan. Japan: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. PIANC. 2002. Guidelines for the Design of Fender Systems*. Japan: PIANC, 2009.
- Paiva, C E L de. *ANÁLISE DAS TENSÕES NO PATIM DO TRILHO NA*. Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2016.
- Pranata, Yosafat Aji. *Metode Elemen Hingga*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha, 2019.
- Seegerling, Larry J. *Applied Finite Element Analysis*. Singapore: John Willey & Sons, 1984.
- SNI-6880. *Spesifikasi Beton Struktural*. Jakarta: SNI, 2016.
- Subagyo, S. *PENGGUNAAN PROGRAM KOMPUTER PADA GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM SANSPRO V 4.7*. Yogyakarta: Civetech, 2020.
- Suryanto, Heru. *Aplikasi Metode Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur Statik Linier Dengan Program Msc/Nastran*. Malang: State University of Malang, 1999.