

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan pembangunan konstruksi, tanah memiliki peran yang sangat krusial. Tanah berfungsi sebagai penopang beban dari struktur bangunan yang berdiri di atasnya dan harus mampu menahan seluruh beban konstruksi, termasuk beban tambahan yang diperhitungkan. Agar tanah mampu menahan beban tersebut, dibutuhkan perencanaan yang cermat. Seiring berjalannya waktu, ketersediaan lahan yang layak untuk pembangunan semakin terbatas, sehingga penggunaan tanah lempung sebagai lokasi pembangunan menjadi tidak terhindarkan. Namun, pembangunan di atas tanah lempung menimbulkan beberapa permasalahan geoteknik. Ketika lapisan tanah menerima beban tambahan, air pori dalam tanah akan keluar, menyebabkan penurunan volume tanah. Proses ini dikenal sebagai penurunan tanah. Selama proses ini berlangsung, bangunan yang berada di atasnya akan ikut mengalami penurunan. Penurunan pada tanah lempung biasanya memerlukan waktu yang cukup lama karena daya rembes airnya sangat rendah.

Saat ini, jalan lingkaran boster mengalami beberapa kerusakan seperti retakan, lubang, serta penurunan perkerasan yang terlihat pada beberapa titik. Kerusakan jalan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, mulai dari beban lalu lintas yang tinggi, kualitas *subgrade* yang kurang memadai, hingga faktor rembesan air hujan. Dengan kondisi yang ada, mengidentifikasi kebutuhannya evaluasi terhadap struktur jalan guna mengetahui dan memastikan jalan tersebut masih mampu untuk mendukung beban yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah dan memperkirakan terjadinya penurunan tanah pada jalan raya Boster.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang terjadi pada jalan tempat studi kasus dilakukan merupakan hal yang lazim terjadi pada jalan di daerah lain yang ada di Indonesia. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar penurunan tanah pada jalan tanpa metode perbaikan berdasarkan simulasi PLAXIS 2D?
2. Berapa besar penurunan yang terjadi jika simulasi dilakukan selama 30 hari?

1.3 Tujuan dan Manfaat

A. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini dilakukan ialah:

1. Untuk mengetahui besar penurunan tanah tanpa perbaikan berdasarkan simulasi PLAXIS 2D.
2. Untuk menghitung berapa besar penurunan yang terjadi jika simulasi dilakukan selama 30 hari.

B. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini dilakukan ialah:

1. Dapat menginspirasi penelitian lebih lanjut.
2. Menjadi pertimbangan dalam perbaikan jalan dimasa yang akan mendatang.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk data sebenarnya kondisi jalan raya boter, Saya sebagai penulis ingin mengetahui besar penurunan tanah pada setiap titiknya, tanpa kajian mendalam terkait perubahan laju penurunan tanah. Maka dari itu untuk membatasi cakupan penelitian agar lebih terarah, penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan pendekatan pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 2D.
2. Fokus analisis pada penurunan jalan yang disebabkan oleh kendaraan, tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti drainase permukaan atau gaya lateral dari lalu lintas.
3. Data jalan yang digunakan berasal dari peneliti sebelumnya.
4. Analisis yang dilakukan mencakup penurunan tanah, faktor keamanan atau *safety factor*, serta waktu konsolidasi tanah lunak.

5. Data beban kendaraan berdasarkan lalu lintas harian rata rata yang dikonversi berdasarkan tabel beban lalu lintas untuk analisis stabilitas yang berasal dari departemen pekerjaan umum.
6. Simulasi penurunan tanah ini difokuskan pada kondisi tanah *maximum stress* yaitu tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh tanah sebelum mengalami kerusakan atau kegagalan.
7. Klasifikasi kendaraan hanya dibagi menjadi 3.
8. Perhitungan dilakukan hanya menggunakan simulasi aplikasi tanpa dilakukan perhitungan manual.
9. Simulasi yang dilakukan dilakukan hanya sedalam 1 meter.
10. Pengambilan data dibatasi hanya selama 8 jam/hari, dan dilakukan selama 4 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. PITRIANI, Y. (2025). *ANALISIS DAYA DUKUNG SUBGRADE PADA RUAS JALAN RAYA BOTER*. Tanah dasar (*subgrade*) adalah elemen penting dalam konstruksi jalan, karena mutu tanah dasar sangat memengaruhi kekuatan dan ketahanan lapisan-lapisan di atasnya. Salah satu cara untuk menilai kemampuan tanah dasar dalam menahan beban adalah dengan menentukan nilai *California Bearing Ratio* (CBR), yang dapat diuji menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan tanah dasar di Ruas Jalan Raya Boter, Kecamatan Rambah, Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau. Pengujian DCP dilaksanakan langsung di lapangan dengan pola zig-zag, dimana setiap segmen berjarak 200 meter, dan secara keseluruhan dilakukan di 15 titik lokasi.

Dari hasil pengujian dan analisis data yang diperoleh, diketahui bahwa nilai CBR rata-rata segmen adalah 3,2%, yang menunjukkan bahwa tanah dasar termasuk dalam kategori kualitas rendah. Nilai daya dukung tanah (DDT) sebesar 3,87% juga menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki daya dukung sedang, sesuai dengan spesifikasi Bina Marga revisi ke-2 untuk subgrade dengan nilai dukung <6%.

2. Adolph, R. (2016). *ANALISIS PENURUNAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN PVD DENGAN PROGRAM PLAXIS 2D (STUDI KASUS JALAN TOL PALEMBANG- INDRALAYA STA 0+2)*. 1–23. Jalan tol yang menghubungkan Palembang dan Indralaya dibangun di atas lapisan tanah lunak. Tanah jenis ini umumnya memiliki kuat geser yang rendah dan memerlukan waktu konsolidasi yang lama, karena termasuk dalam kategori tanah berbutir halus dengan karakteristik permeabilitas yang rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan perbaikan dengan metode timbunan secara konstan yang dikombinasikan dengan pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Metode PVD ini dipilih sebagai solusi untuk mempercepat waktu konsolidasi. Dalam perencanaannya, PVD ditanam hingga

kedalaman 15 meter dengan pola bujur sangkar dan variasi jarak antar drain sebesar 1 m, 1,2 m, dan 1,3 m.

Perhitungan penurunan konsolidasi dilakukan secara manual dan juga menggunakan program PLAXIS 2D, berdasarkan data dari titik bor. Metode manual mengacu pada teori konsolidasi Terzaghi. Hasil perhitungan secara manual menunjukkan bahwa penurunan konsolidasi tanpa PVD sebesar 3,14 meter, dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 81 tahun. Sementara dengan PVD, waktu konsolidasi untuk jarak 1 m adalah 23 hari, 1,2 m selama 52 hari, dan 1,3 m selama 75 hari.

Analisis menggunakan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa tanpa PVD, penurunan tanah sebesar 4,2 meter terjadi dalam waktu 9.867 hari. Namun, ketika PVD diterapkan, waktu konsolidasi menjadi lebih singkat, yaitu 1.073 hari untuk jarak 1 m, dan sekitar 1.054–1.073 hari untuk jarak 1,2 m dan 1,3 m.

3. Wardani, H. K. (2023). Analisis Stabilitas Timbunan Lereng jalan dengan perkuatan Geotekstil menggunakan program plaxis 8.6. 6, 1–196. Analisis yang dilakukan pada timbunan tanah asli dengan variasi tinggi timbunannya adalah 2m, 4m, 6m, 8m, 10m, 12m dan 14m. Variasi pemodelan yang dilakukan pada masa konstruksi dan paska konstruksi dengan jenis timbunan tanah asli serta memperhitungkan beban gempa yang terjadi. Timbunan tanah yang aman adalah timbunan dengan memenuhi syarat angka aman $> 1,3$. Timbunan yang tidak aman akan diberi perkuatan menggunakan perkuatan geotekstil.

Hasil analisis yang dilakukan pada lereng asli menggunakan program Plaxis mendapatkan nilai angka aman dan penurunan tanah untuk lereng timbunan 2m, 4m, 6m, 8m, dan 10m mendapatkan angka aman yang telah disyaratkan baik masa konstruksi dan paska konstruksi Hasil analisis stabilitas pada kondisi masa konstruksi menunjukan bahwa angka aman untuk lereng 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 1,441 dan 1,293. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,176m dan 0,217m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 1,439 dan 1,291. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,180m dan

0,223m. Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,225 dan 1,138. Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,196m dan 0,241m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut sebesar 1,223 dan 1,136.

Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,199m dan 0,243m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa lereng timbunan 12m dan 14m belum memenuhi angka aman yang disyaratkan, maka dari itu perlu ditambahkan perkuatan geotekstil agar memenuhi syarat angka aman yaitu $> 1,3$. Pada lereng timbunan 12m dan 14m dengan perkuatan geotekstil dilakukan pada kondisi masa konstruksi menunjukkan bahwa angka aman untuk lereng 12m dan 14m akibat beban struktur secara berturut di dapat angka aman sebesar 1,824 dan 1,642. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,174m dan 0,214m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 1,822 dan 1,637. Nilai penurunan tanah akibat beban struktur dan beban gempa sebesar 0,178m dan 0,220m. Pada kondisi paska kondisi paska konstruksi di dapat nilai angka aman akibat beban lalu lintas secara berturut sebesar 1,418 dan 1,361.

Nilai penurunan akibat beban lalu lintas secara berturut di dapat nilai penurunan sebesar 0,194m dan 0,238m. Sedangkan nilai angka aman akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut sebesar 1,410 dan 1,357. Nilai penurunan tanah akibat beban lalu lintas dan beban gempa secara berturut di dapat nilai penurunan tanah sebesar 0,198m dan 0,240m. Hal tersebut, menunjukkan dengan adanya penambahan perkuatan geotekstil dapat meningkatkan angka aman (*Safety Factor*) lereng timbunan.

4. Arthaning Tyas, M. D., Isnaniati, I., & Hutama, D. A. (2022). Pengaruh Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Deep Mixing Terhadap Besarnya Penurunan. Kondisi tanah dasar yang lunak seringkali menjadi kendala dalam pekerjaan konstruksi, karena tanpa perbaikan tanah terlebih dahulu, tanah

tersebut cenderung mengalami penurunan yang cukup besar. Dalam penelitian ini, digunakan metode *deep mixing* yang dimodelkan sebagai pelat guna meningkatkan kestabilan tanah.

Berdasarkan laporan hasil investigasi tanah, lokasi penelitian berada di Kota Banjarmasin, tepatnya di tepi Sungai Barito, yang didominasi oleh tanah rawa dengan muka air tanah berada pada kedalaman -0,25 meter. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil perhitungan penurunan tanah sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan menggunakan metode *deep mixing*, dengan variasi pada nilai modulus elastisitas. Beban timbunan yang digunakan dalam simulasi setinggi 5 meter, dengan variasi modulus elastisitas ($E = 50.000$ kPa; 100.000 kPa; 200.000 kPa), diameter kolom *deep mixing* 0,6 meter, jarak antar kolom 2,5 meter, dan kedalaman perbaikan total 17,5 meter. Hasil analisis sebelum diterapkannya *deep mixing* menunjukkan bahwa penurunan konsolidasi (S_c) sebesar 1,99 meter dengan waktu konsolidasi (t) selama 22,328 tahun pada derajat konsolidasi 90% (U_{90}). Setelah dilakukan perbaikan dengan *deep mixing* menggunakan $E = 200.000$ kPa, diameter 0,6 meter, dan jarak 2,5 meter, serta dianalisis menggunakan PLAXIS 8.6 2D, diperoleh penurunan konsolidasi sebesar 1,54 meter dengan waktu penurunan hanya 0,23 tahun pada U_{90} . Peningkatan nilai modulus elastis (E) terbukti mampu mengurangi besarnya penurunan tanah (S), dan hasil analisis menggunakan PLAXIS 8.6 menunjukkan pola deformasi yang terjadi di sekitar area timbunan.

5. RTS FEBRY KUMALA RASDI. (2021). Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program Plaxis 8.2. Proyek Jalan Tol Balikpapan–Samarinda yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur memiliki kondisi tanah yang bervariasi. Pada STA 2+050, kondisi tanah di lapangan berupa tanah rawa, yang memiliki potensi menyebabkan penurunan tanah dan longsor. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap timbunan yang akan dibangun di atas tanah rawa untuk mendukung pembangunan jalan tol.

Penelitian ini dilakukan sepanjang jalur Tol Balikpapan – Samarinda, dengan fokus pada analisis stabilitas timbunan di STA 2+050 menggunakan

perangkat lunak Plaxis 8.2. Variasi tinggi timbunan yang dianalisis adalah 6 m, 7 m, dan 10 m. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan nilai faktor keamanan (SF) dan besar penurunan tanah. Timbunan dianggap aman apabila memiliki nilai SF minimal 1,5. Jika nilai tersebut tidak tercapai, maka diperlukan perkuatan dengan material geotekstil. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk tinggi timbunan 6 meter, diperoleh nilai SF sebesar 1,6363 dengan penurunan tanah sebesar 0,06384 meter, yang menunjukkan kondisi sangat aman karena melebihi batas minimal.

Pada timbunan setinggi 7 meter, diperoleh nilai SF sebesar 1,5019 dan penurunan sebesar 0,0748 meter, yang juga dinyatakan aman karena memenuhi syarat nilai $SF \geq 1,5$. Namun, pada timbunan setinggi 10 meter, awalnya terjadi kondisi tidak stabil dengan nilai SF di bawah batas aman dan penurunan sebesar 0,01229 meter. Setelah dilakukan perbaikan dan perhitungan ulang terhadap stabilitas timbunan 10 meter tersebut, diperoleh nilai SF sebesar 1,7287 dengan penurunan tanah sebesar 0,272 meter, yang menunjukkan bahwa kondisi timbunan telah menjadi stabil dan aman.

6. Pratama, R. R. (2021). Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah berjenjang tipe concrete cantilever menggunakan program plaxis 8.6. Proyek irigasi Panti Rao yang berlokasi di daerah Pasaman, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, memiliki kondisi lereng yang cukup bervariasi. Khususnya pada area studi, ditemukan sejumlah lereng curam yang telah mengalami longsor sebelumnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa stabilitas lereng berada dalam kondisi yang cukup kritis dan berpotensi mengalami longsor kembali. Oleh karena itu, dilakukan analisis stabilitas lereng untuk mengetahui nilai faktor keamanan terhadap potensi longsor serta besarnya penurunan tanah yang terjadi, guna merencanakan sistem perkuatan yang tepat.

Analisis stabilitas dilakukan melalui perhitungan manual yang kemudian dilengkapi dengan simulasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.6. PLAXIS merupakan program berbasis metode elemen hingga dua dimensi, yang dirancang khusus untuk menganalisis stabilitas dan deformasi tanah serta

memungkinkan pemodelan berbagai geometri dan sistem perkuatan dalam bidang geoteknik. Dalam penelitian ini, digunakan sistem perkuatan berupa dinding penahan tanah tipe kantilever berjenjang, dengan analisis dilakukan pada dua kondisi: normal dan ekstrem. Hasil analisis kondisi lereng eksisting dengan PLAXIS 8.6 menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,2282 tanpa perkerasan, sementara hasil perhitungan manual menggunakan metode Fellenius memberikan nilai SF sebesar 1,20787, yang mengindikasikan kondisi lereng cukup kritis dan telah mengalami kelongsoran. Untuk perhitungan stabilitas eksternal dinding penahan tanah berjenjang secara manual, diperoleh hasil SF terhadap guling sebesar 3,5109 (>2), SF terhadap geser sebesar 3,3074 (>2), dan SF kapasitas daya dukung tanah sebesar 12,9753 (>3), yang semuanya menunjukkan kondisi aman.

Selanjutnya, hasil analisis menggunakan PLAXIS 8.6 pada dua kondisi menunjukkan bahwa:

- Kondisi normal: tanpa perkuatan, SF = 1,2191 dan penurunan tanah = 0,0399 meter; dengan perkuatan, SF = 1,7823, SF gempa = 1,1163, dan penurunan = 0,0276 meter.
 - Kondisi ekstrem: tanpa perkuatan, SF = 1,1449 dan penurunan = 0,0502 meter; dengan perkuatan, SF = 1,7556, SF gempa = 1,0452, dan penurunan = 0,0507 meter.
7. Hakim, N. (2019). Analisis Penurunan Tanah (Settlement) Pada Proyek Pembangunan Flyover Di Jalan Tuanku Tambusai–Jalan Soekarno Hatta Kota Pekanbaru Dengan Menggunakan Data Geomekanika Tanah. Lokasi penelitian berada di area pembangunan *Flyover* SKA yang terletak di Jalan Tuanku Tambusai – Jalan Arengka, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Secara geografis, lokasi ini berada pada koordinat 00029'54.93" – 00030'5.48" Lintang Selatan dan 101025'8.87" – 101025'9.34" Bujur Timur. Dalam proyek konstruksi, tanah berfungsi sebagai penopang utama beban dari struktur bangunan yang didirikan di atasnya. Namun, pembangunan di atas tanah lempung dapat menimbulkan permasalahan geoteknik seperti penurunan tanah yang berpotensi merusak bangunan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi tanah dan memperkirakan potensi penurunan tanah pada lubang bor 2 di lokasi pembangunan *Flyover* SKA. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi uji sondir, uji SPT, simulasi dengan aplikasi PLAXIS 2D, serta analisis ayakan dan batas Atterberg. Hasil uji sondir menunjukkan bahwa pada kedalaman lebih dari 17,20 meter, dengan nilai $q_c < 150 \text{ kg/cm}^2$, potensi penurunan tanah melebihi 1,7 cm. Sementara pada kedalaman kurang dari 17,20 meter, dengan nilai $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$, potensi penurunannya kurang dari 1,7 cm. Uji SPT menunjukkan bahwa pada kedalaman 0–12 meter, tanah memiliki nilai SPT-N60 sebesar 10 dengan penurunan tanah sekitar 5–25 cm. Pada kedalaman 14–20 meter, nilai SPT-N60 sebesar 14–41 dengan penurunan 1,22–3,57 cm. Sementara di kedalaman 22–40 meter, nilai SPT-N60 sebesar 33–60 menunjukkan penurunan antara 0,83–1,51 cm. Hasil simulasi menggunakan PLAXIS 2D menunjukkan bahwa setelah diberi beban sebesar 2,5 ton, terjadi penurunan tanah sebesar $7,29 \times 10^{-3}$ meter atau 0,729 cm. Analisis ayakan dan Atterberg digunakan sebagai data pendukung dan menunjukkan hasil yang sejalan dengan perhitungan tanah yang dilakukan.

8. Rismalinda. (2015). ANALISA PENGARUH BERAT ISI PASIR TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL BERBENTUK SEGITIGA. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi berat isi tanah pasir terhadap daya dukung pondasi berbentuk segitiga, di mana pondasi memiliki panjang sisi 13,20 cm dan 15,20 cm, namun luas penampangnya tetap sama, yaitu 100 cm^2 . Model pondasi tersebut diletakkan di atas permukaan pasir yang dimasukkan secara berlapis ke dalam kotak kayu berukuran $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$.

Berat isi tanah pasir divariasikan berdasarkan metode penempatan dan penggunaan ayakan, yaitu:

- $\gamma = 1,3890 \text{ gr/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 20 cm tanpa ayakan,
- $\gamma = 1,4570 \text{ kg/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 20 cm menggunakan ayakan no. 10,

- $\gamma = 1,5033 \text{ kg/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 30 cm tanpa ayakan,
- $\gamma = 1,7090 \text{ kg/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 30 cm dengan ayakan no. 10,
- $\gamma = 1,8128 \text{ kg/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 50 cm tanpa ayakan,
- $\gamma = 1,9060 \text{ kg/cm}^3$, dijatuhkan dari ketinggian 50 cm menggunakan ayakan no. 10.

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Terzaghi dan Vesic, nilai daya dukung tertinggi diperoleh pada kondisi dengan tinggi jatuh 50 cm dan penggunaan ayakan no. 10. Daya dukung tekan fondasi juga dianalisis menggunakan pendekatan grafis melalui metode Chin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan rusuk (*rib*) pada pondasi segitiga meningkatkan kapasitas dukung secara signifikan. Selain itu, nilai berat isi tanah (berat jenis) berpengaruh langsung terhadap daya dukung pondasi dangkal semakin besar berat jenis tanah, maka semakin tinggi pula daya dukung pondasinya.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini memang mempunyai kemiripan dengan penelitian terdahulu tetapi dipertegas lagi terhadap perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya diantaranya yaitu:

1. Tempat penelitian dilakukan di jalan raya Boter Kecamatan Rambah.
2. Penelitian ini membahas simulasi penurunan yang terjadi pada jalan, Penelitian ini hanya akan memfokuskan pada penurunan tanah yang terjadi akibat beban kendaraan yang berlebih atau tidak sesuai dengan kapasitas jalan yang ada.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah lapisan paling luar dari permukaan bumi, terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air, dan udara. Tanah berfungsi sebagai media tempat tumbuhan tumbuh, habitat bagi berbagai organisme, dan tempat penyimpanan air. Selain itu, tanah juga memiliki nilai ekonomi dan berperan penting dalam siklus kehidupan di bumi.

Tanah merupakan kumpulan dari mineral, bahan organik, serta endapan yang bersifat longgar dan terletak di atas lapisan batuan dasar. Tanah terdiri atas agregat berupa butiran mineral padat yang tidak saling terikat secara kimia, serta bahan organik yang telah mengalami pelapukan, disertai keberadaan cairan dan gas yang mengisi ruang kosong antar butirannya.

Definisi lain menyebutkan bahwa tanah adalah kumpulan partikel padat yang tidak saling terikat satu sama lain, termasuk di dalamnya kemungkinan adanya material organik, dengan rongga antar partikel yang diisi oleh air dan udara. Hardiyatmo mendefinisikan tanah sebagai himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas yang terletak di atas batuan dasar. Dikutip dalam Fauizek tahun 2018, mendefinisikan tanah sebagai lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut karena perubahan alami.

Laurence D. Wesley tahun 1997 menjelaskan bahwa tanah dibentuk oleh pelapukan fisik dan kimia pada batuan. Menurut Ramman berpendapat bahwa tanah adalah bahan bebatuan yang telah dirombak menjadi partikel kecil yang telah berubah secara kimiawi bersamaan dengan sisa tumbuhan dan hewan

3.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah cara mengelompokkan tanah berdasarkan sifat-sifatnya agar mudah dikenal dan dibedakan. Ada beberapa sistem klasifikasi

tanah, termasuk yang berdasarkan tekstur (pasir, lanau, lempung), dan ada juga yang berdasarkan sifat-sifat fisik, kimia, dan mineralogi. Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah (USCS), dan AASHTO merupakan sistem yang umum digunakan, terutama dalam bidang teknik sipil.

3.2.1 Berdasarkan Ukuran Butir

Berdasarkan ukuran partikel-partikelnya beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limit*)

Tabel 3.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Kelompok Organisasi	Ukuran Butiran (mm)			
	kerikil	pasir	lanau	lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0.06	0.06 - 0.002	<0.002
U.S. Departement of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0.05	0.05 - 0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	<0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of	76.2 - 4.75	4.75 - 0.075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0.0075	

sumber : Braja M Das, 1995

Tanah diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikel penyusunnya, yaitu kerikil (ukuran terbesar, lebih besar dari 2 mm), pasir (ukuran 0,075 mm hingga 4,75 mm), lanau (ukuran di antara pasir dan lempung, lebih kecil dari 0,075 mm), dan lempung (partikel terkecil, di bawah 0,002 mm, non-plastis atau sangat sedikit plastis menurut SNI 6371:2015

Berikut merupakan pengertian masing-masing tanah:

- Kerikil (Gravel):

Tanah berbutir kasar dengan ukuran partikel yang sangat besar, yaitu lebih besar dari 2 mm, bahkan ada yang lebih besar dari 75 mm. Kerikil tidak kohesif atau tidak saling mengikat.

- Pasir (*Sand*):

Tanah berbutir kasar dengan ukuran partikel berkisar antara 0,075 mm hingga 4,75 mm, atau antara 2 mm hingga 0,075 mm menurut sumber lain. Tanah pasir bersifat tidak kohesif dan tidak plastis

- Fraksi butir kasar = > 50% persentase yang tertahan saringan no.200
- Fraksi Gravel = lebih dari setengah fraksi kasar yang tertahan saringan no.4
- Fraksi sand = lebih dari setengah fraksi kasar berada antara ukuran saringan no.4% dan no.200

Tanah berbutir halus (*fine grained soils*) yaitu lanau (*silts*) dan lempung (*clays*) yang memiliki 50% atau lebih lolos saringan no.200 atau ukuran ayakan 75 mm dan diklasifikasikan berdasarkan nilai batas Atterberg dan apakah mengandung jumlah signifikan dari material organik. Berdasarkan diagram casagrande, perbedaan dibuat antara tanah dengan nilai LL kurang dari atau lebih besar dari 50 (simbol L dan H) dan antara tanah inorganik di atas atau di bawah garis A.

3.4 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) mengelompokkan tanah menjadi tujuh kelompok utama (A-1 hingga A-7) berdasarkan sifat-sifatnya untuk konstruksi jalan raya, dengan membagi tanah menjadi dua kategori utama: material berbutir kasar (A-1, A-2, A-3) dan material berbutir halus (A-4, A-5, A-6, A-7).

Klasifikasi didasarkan pada persentase lolos ayakan #200, batas cair (LL), dan indeks plastisitas (PI), yaitu:

A-1: Bergradasi baik, seperti kerikil dan pasir, dengan indeks plastisitas maksimal 6.

A-2: Campuran agregat halus dan kasar (*gravel/sand*) dengan kandungan lanau atau lempung, sering disebut tanah "*silty* atau *clayey gravel and sand*".

A-3: Pasir bersih bergradasi buruk, tidak ada nilai batas cair dan indeks plastisitasnya tidak ditemukan.

- Lanau (*Silt*):

Tanah berbutir halus yang ukurannya berada di antara pasir dan lempung, yaitu lebih kecil dari 0,075 mm. butiran tanah yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm), yang nonplastis atau sangat sedikit plastis.

- Lempung (*Clay*):

Tanah dengan partikel terkecil, yaitu partikel yang sangat halus dan tidak terlihat oleh mata telanjang. Lempung bersifat kohesif atau saling mengikat, serta plastis dalam selang kadar air tertentu. Tanah lempung memiliki batas cair di bawah 50% menurut Kementerian Pekerjaan Umum

3.3 Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah (USCS)1989

Sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi adalah klasifikasi sistem USCS. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*) dan S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*Sandy Soil*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yang lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} > 50$). Simbol kelompok diawali dengan M untuk lanau inorganik (*Inorganic Silt*), C untuk lempung inorganik (*Inorganic Clay*), O untuk lanau dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*Peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh United State Bureau of Reclamation (USBR) dan United State Army Corps of Engineer (USACE):

- Fraksi butir halus = > 50 % persentase yang lolos saringan no.200

A-4: Tanah lanau (*silty*) dengan batas cair maksimal 40 dan indeks plastisitas maksimal 10.

A-5: Tanah lanau dengan batas cair minimal 41 dan indeks plastisitas maksimal 10.

A-6: Tanah lempung (*clayey*) dengan batas cair maksimal 40 dan indeks plastisitas minimal 11.

A-7: Tanah lempung dengan batas cair minimal 41 dan indeks plastisitas minimal 11.

Batas Cair (LL): Sifat tanah yang menunjukkan kadar air maksimum saat tanah mulai berubah dari fase semi-padat menjadi plastis.

Indeks Plastisitas (PI): Merupakan selisih antara Batas Cair (LL) dan Batas Plastis (PL), yang menunjukkan rentang perubahan konsistensi saat tanah dikeringkan atau dibasahi.

Indeks Grup: Diperoleh dari rumus yang memperhitungkan batas cair, indeks plastisitas, dan fraksi lolos ayakan #200. Nilai indeks grup yang lebih besar menunjukkan kualitas material yang kurang baik, yang ditulis dalam kurung setelah simbol kelas (contoh: A-4(3)).

- Fraksi butir kasar = > 50% persentase yang tertahan saringan no.200
- Fraksi Gravel = lebih dari setengah fraksi kasar yang tertahan saringan no.4
- Fraksi sand = lebih dari setengah fraksi kasar berada antara ukuran saringan no.4% dan no.200

Tanah berbutir halus (*fine grained soils*) yaitu lanau (*silts*) dan lempung (*clays*) yang memiliki 50% atau lebih lolos saringan no.200 atau ukuran ayakan 75 mm dan diklasifikasikan berdasarkan nilai batas Atterberg dan apakah mengandung jumlah signifikan dari material organik. Berdasarkan diagram casagrande, perbedaan dibuat antara tanah dengan nilai LL kurang dari atau lebih besar dari 50 (simbol L dan H) dan antara tanah inorganik di atas atau di bawah garis A.

3.4 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) mengelompokkan tanah menjadi tujuh kelompok utama (A-1 hingga A-7) berdasarkan sifat-sifatnya untuk konstruksi jalan raya, dengan membagi tanah menjadi dua kategori utama: material berbutir kasar (A-1, A-2, A-3) dan material berbutir halus (A-4, A-5, A-6, A-7).

Klasifikasi didasarkan pada persentase lolos ayakan #200, batas cair (LL), dan indeks plastisitas (PI), yaitu:

A-1: Bergradasi baik, seperti kerikil dan pasir, dengan indeks plastisitas maksimal 6.

A-2: Campuran agregat halus dan kasar (*gravel/sand*) dengan kandungan lanau atau lempung, sering disebut tanah "*silty* atau *clayey gravel and sand*".

A-3: Pasir bersih bergradasi buruk, tidak ada nilai batas cair dan indeks plastisitasnya tidak ditemukan.

- Lanau (*Silt*):

Tanah berbutir halus yang ukurannya berada di antara pasir dan lempung, yaitu lebih kecil dari 0,075 mm. butiran tanah yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm), yang nonplastis atau sangat sedikit plastis.

- Lempung (*Clay*):

Tanah dengan partikel terkecil, yaitu partikel yang sangat halus dan tidak terlihat oleh mata telanjang. Lempung bersifat kohesif atau saling mengikat, serta plastis dalam selang kadar air tertentu. Tanah lempung memiliki batas cair di bawah 50% menurut Kementerian Pekerjaan Umum

3.3 Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah (USCS)1989

Sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal di kalangan para ahli teknik tanah dan pondasi adalah klasifikasi sistem USCS. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*) dan S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*Sandy Soil*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yang lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} > 50$). Simbol kelompok diawali dengan M untuk lanau inorganik (*Inorganic Silt*), C untuk lempung inorganik (*Inorganic Clay*), O untuk lanau dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*Peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh United State Bureau of Reclamation (USBR) dan United State Army Corps of Engineer (USACE):

- Fraksi butir halus = > 50 % persentase yang lolos saringan no.200

A-4: Tanah lanau (*silty*) dengan batas cair maksimal 40 dan indeks plastisitas maksimal 10.

A-5: Tanah lanau dengan batas cair minimal 41 dan indeks plastisitas maksimal 10.

A-6: Tanah lempung (*clayey*) dengan batas cair maksimal 40 dan indeks plastisitas minimal 11.

A-7: Tanah lempung dengan batas cair minimal 41 dan indeks plastisitas minimal 11.

Batas Cair (LL): Sifat tanah yang menunjukkan kadar air maksimum saat tanah mulai berubah dari fase semi-padat menjadi plastis.

Indeks Plastisitas (PI): Merupakan selisih antara Batas Cair (LL) dan Batas Plastis (PL), yang menunjukkan rentang perubahan konsistensi saat tanah dikeringkan atau dibasahi.

Indeks Grup: Diperoleh dari rumus yang memperhitungkan batas cair, indeks plastisitas, dan fraksi lolos ayakan #200. Nilai indeks grup yang lebih besar menunjukkan kualitas material yang kurang baik, yang ditulis dalam kurung setelah simbol kelas (contoh: A-4(3)).

Tabel 3.2 sistem klasifikasi tanah metode AASHTO

METODE ASSHTO

Klasifikasi umum	Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lempung-lempung ($< 35\%$ lolos saringan no. 200)				
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5/A-7.6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- 35 maks 35 maks	- 35 maks 35 maks	- 35 maks 35 maks	- 36 min 36 min	- 36 min 36 min	- 36 min 36 min	- 36 min 36 min	- 36 min 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	- 6 maks	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min 41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	
Indeks kelompok (G)	0	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks		
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir			Tanah berlanau		Tanah berlempung		
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

Catatan :

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PI)

Untuk $PI > 30$, klasifikasinya A-7-5 ;Untuk $PI < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

Sumber: AASHTO

3.5 Penurunan Tanah

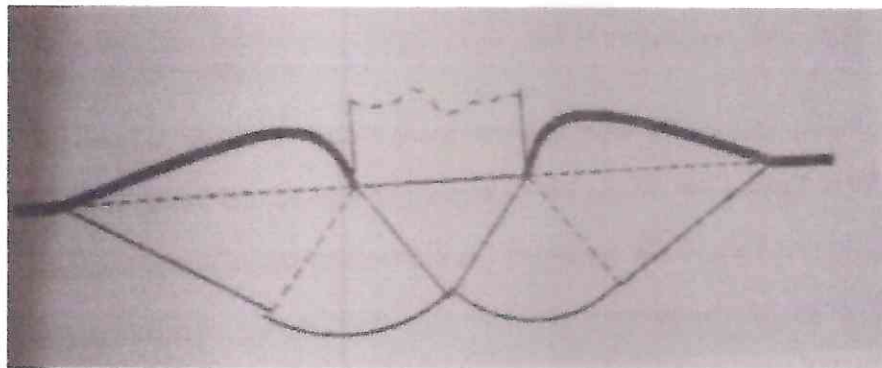
Penurunan tanah, atau *land subsidence* dalam bahasa Inggris, adalah turunnya permukaan tanah secara bertahap atau tiba-tiba akibat berbagai faktor, baik alami maupun akibat aktivitas manusia. Fenomena ini dapat terjadi pada area yang luas dan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif.

Penurunan tanah adalah suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan pada suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk pembebanan, eksploitasi air tanah, gempa, dan ketidakstabilan bidang tanah (Marfai 2006). Penurunan tanah (*settlement*) adalah pergerakan vertikal tanah ke bawah akibat beban, baik dari struktur maupun perubahan kondisi tanah (seperti perubahan kadar air atau tekanan air pori) (Das 2010).

Penurunan tanah sebagai "*gradual lowering or sinking of the earth's surface due to subsurface mass removal*" (penurunan atau amblesan permukaan bumi secara bertahap akibat pengangkatan massa di bawah

permukaan). Mereka fokus pada penyebab yang berkaitan dengan hilangnya material di bawah permukaan, seperti pengambilan air tanah. (Poland dan Davis 1969). Definisi yang lebih luas, yaitu "*the loss of surface elevation due to removal of subsurface support*" (hilangnya elevasi permukaan akibat hilangnya dukungan bawah permukaan). Definisi ini mencakup berbagai mekanisme penyebab, tidak hanya terbatas pada pengambilan fluida.

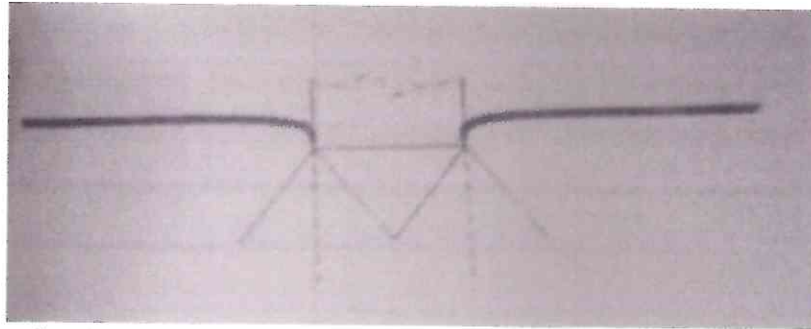
Keruntuhan geser umum terjadi pada tanah-tanah tidak mudah mampat (*incompressible*), kuat, kenyang air, dan pada tanah lempung terkonsolidasi munculnya gundukan tanah disamping pondasi. Umumnya terjadi pada pondasi terletak diatas tanah lempung, atau pasir padat dengan kepadatan relatif (*relative density-Dr* $\geq 67\%$).



Gambar 3.1 model keruntuhan geser umum (*general shear failure*)
(suryolelono, 2004)

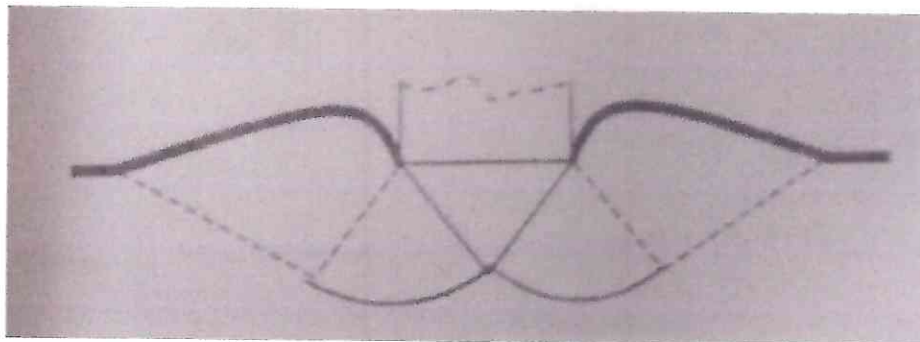
Keruntuhan geser tembus pada tanah pasir lepas(*loose sand*), lapisan tanah kuat terletak diatas lapisan tanah lunak atau tanah lempung lunak. Umumnya tanah mempunyai sifat mudah mampat (*compressible*), sehingga penurunan yang terjadi besar. Umumnya terjadi pada pondasi terletak diatas

tanah pasir kondisi lepas sampai agak padat, atau tanah pasir mempunyai kepadatan relative 30-67%.



Gambar 3.2 model keuruntuhan geser tembus (*punching shear failure*)
(suryolelono, 2004)

Keruntuhan geser lokal merupakan kejadian antara kedua tipe keruntuhan tersebut diatas. Keruntuhan secara cepat tidak terjadi, dan pondasi terbenam kedalam tanah secara perlahan-lahan. Umumnya terjadi pada pondasi yang terletak diatas lapisan tanah pasir lepas atau mempunyai kepadatan relatif kurang dari 30%.



Gambar 3.3 model keuruntuhan geser lokal (*local shear failure*) (suryolelono, 2004)

3.6. Penurunan segera

Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) Disebut juga *elastic settlement*. Terjadi segera setelah beban diterapkan. Umumnya terjadi pada tanah berbutir (*granular soils*, seperti pasir dan kerikil), atau pada tanah kohesif jenuh dalam kondisi tak terkonsolidasi.

3.7 Penurunan Primer

Penurunan Konsolidasi (*Primary Consolidation Settlement*) Terjadi akibat pengeluaran air pori dari tanah kohesif jenuh (seperti lempung) karena beban. Proses ini berlangsung secara bertahap seiring waktu Umumnya dianalisis dengan teori konsolidasi dari Terzaghi.

3.8 Penurunan Sekunder

Penurunan Sekunder (*Secondary Settlement* atau *Creep*) Terjadi setelah proses konsolidasi primer selesai. Penyebab: reorientasi struktur partikel tanah dan deformasi plastis yang berlanjut meskipun tekanan tetap konstan. Umumnya signifikan pada tanah organik, lempung lunak, dan gambut.

3.9 Faktor Penyebab Penurunan Tanah

Menurut Das tahun 2010, penurunan tanah disebabkan oleh 3 faktor, yaitu:

1. *Immediate settlement*, yaitu penurunan langsung setelah beban diberikan, biasanya pada tanah berbutir kasar seperti pasir
2. *Primary consolidation*, yaitu penurunan akibat keluarnya air dari pori-pori tanah jenuh (umumnya pada tanah lempung).
3. *Secondary consolidation*, yaitu penurunan jangka panjang karena reorientasi partikel tanah, bahkan setelah air pori keluar.

Menurut terzaghi dan peck tahun 1967, menjelaskan bahwa penyebab utama penurunan tanah meliputi:

1. Konsolidasi tanah lempung lunak karena beban struktural
2. Pemadatan tanah akibat beban lalu lintas atau getaran
3. Pengaruh air tanah, termasuk penurunan muka air tanah yang menyebabkan kerapatan tanah meningkat.

Menurut coduto tahun 2001, dalam buku “*geotechnical engineering: principles and practices*” Donal P. Coduto menyatakan bahwa penyebab penurunan tanah antara lain yaitu:

1. *Load-induced settlement*, yaitu penurunan tanah akibat beban struktur atau timbunan.
2. *Moisture-induced settlement*, yaitu perubahan kadar air, seperti pengeringan atau pembasahan)
3. *Collapse settlement*, yang terjadi pada tanah berstruktur longgar jika tiba-tiba jenuh.

3.10 Gamma saturated (γ_{sat}) dan gamma dry(γ_{dry})

1. Terzaghi & Peck (1967)

- Menurut Terzaghi, berat isi tanah dibagi menjadi beberapa kondisi:
 - γ_{dry} (*dry unit weight*) → jika tanah benar-benar kering.
 - γ_{sat} (*saturated unit weight*) → jika pori-pori tanah sepenuhnya terisi air.
 - γ (*bulk unit weight / moist unit weight*) → jika tanah mengandung air, tetapi tidak jenuh.
- Jadi, γ_{sat} = berat tanah per volume total ketika kondisi jenuh ($S = 100\%$).
- Sedangkan jika tanah tidak jenuh, maka berat isinya tergantung kadar air → disebut γ_{unsat} .

2. Hardiyatmo (2010, Mekanika Tanah I)

- Dalam literatur Indonesia, Hardiyatmo juga menyebut:
 - γ_{sat} = berat isi tanah pada kondisi jenuh sempurna (semua pori terisi air).
 - γ_{unsat} = berat isi tanah pada kondisi kadar air alami tetapi belum jenuh.

3.11 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada table berikut:

Tabel 3.3 modulus elastisitas

no	jenis tanah	E kN/m^2
1	Lempung:	
	sangat lunak	300-3000
	lunak	2000-4000
	sedang	4500-9000
	keras	7000-20000
	berpasir	30000-42500
2	pasir:	5000-20000
	berlanau	10000-250000
	tidak padat	50000-100000
	padat	
3	pasir dan kerikil:	
	padat	80000-200000
	tidak padat	50000-140000
4	lanau	2000-20000
5	loses	15000-60000
6	cadas	140000-1400000

Sumber: Bowles, 1977

3.12 Possion Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel.

Tabel 3.4 poisson ratio

No	Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν)
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,1 – 0,3
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

Sumber: Hardiyatmo, 2003

3.13 Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam berupa gerakan lateral tanah.

Tabel 3.5 kohesi

No.	Konsistensi Tanah	Tekanan Konus (q_c) kg/cm^2	Kohesi (kg/cm^2)
1	Sangat Lunak	< 2.50	< 1.25
2	Lunak	2.50 – 5.00	1.25 – 2.50
3	Agak Kaku	5.00 – 10.00	2.50 – 5.00
4	Kaku	10.00 – 20.00	5.00 – 10.00
5	Sangat Kaku	20.00 – 40.00	10.00 – 20.00
6	Keras	> 40.00	> 20.00

Sumber: Bowles, 1996

3.14 Sudut Geser

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah. Sudut geser tanah sama dengan

kohesi yaitu untuk menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah.

Table 3.6 sudut geser

	Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
1	Kerikil Kepasiran	35 – 40
2	Kerikil Kerakal	35 – 40
3	Pasir Padat	35 – 40
4	Pasir Lepas	30
5	Lempung	25 – 30
6	Lanau	20 – 25

Sumber: Bowles, 1996

3.15 Beban kendaraan

Sesuai dengan peraturan dari Departemen Pekerjaan Umum tahun 2009 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan yang dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3.7 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Kolektor	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Departemen pekerjaan umum, 2009

3.16 PLAXIS 2D

PLAXIS adalah sebuah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk melakukan analisis geoteknik, khususnya untuk memodelkan perilaku tanah dan struktur tanah secara dua dimensi (PLAXIS 2D) maupun tiga dimensi (PLAXIS 3D). Software ini sangat berguna dalam bidang teknik sipil, terutama untuk merancang dan menganalisis:

- Penurunan tanah (*settlement*)
- Kestabilan lereng
- Perilaku timbunan jalan atau tanggul
- Pondasi dangkal dan tiang
- Galian dan dinding penahan tanah
- Terowongan dan struktur bawah tanah lainnya

Aplikasi Plaxis dikembangkan oleh sekelompok peneliti di Universitas Teknologi Delft di Belanda, bekerja sama dengan Kementerian Infrastruktur dan Pengelolaan Air Belanda (*Rijkswaterstaat*) pada akhir tahun 1980-an,

Pada tahun 2022, PLAXIS dianugerahi Penghargaan Inovator Luar Biasa oleh *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (ISSMGE). Penghargaan ini mengakui inovasi yang telah dipersembahkan oleh tim PLAXIS sejak awal berdirinya, memajukan profesi rekayasa geoteknik. Salah satu kunci keberhasilan PLAXIS adalah bagaimana kami telah membuat topik yang kompleks menjadi mudah digunakan dan dipahami, meskipun sebenarnya topik tersebut tidaklah mudah sama sekali. Kritikus pernah berpendapat bahwa PLAXIS membuat analisis elemen hingga geoteknik menjadi terlalu mudah, sehingga siapa pun bisa melakukan analisis geoteknik tingkat lanjut, bahkan tanpa memahami latar belakang dan batasan-batasannya, yang hal ini bisa berbahaya. Namun, tujuan utama dari PLAXIS adalah untuk menyediakan kemampuan perangkat lunak yang canggih bagi mereka yang memahami prinsip-prinsip geoteknik. Selain itu, PLAXIS juga merupakan aplikasi yang sangat cocok untuk mendidik mahasiswa dan para profesional tentang berbagai aspek perilaku tanah yang kompleks, sehingga mereka dapat menjadi para ahli.

Selain kemampuan pemodelan geoteknik yang luas, antarmuka pemrograman aplikasi (API) yang dikendalikan melalui perintah juga merupakan faktor kunci kesuksesan PLAXIS selama dekade terakhir. Sekarang, memudahkan penghubungan PLAXIS dengan perangkat lunak lain, pertukaran data, serta otomatisasi pembuatan model dan pengolahan hasil.

Popularitas Python sebagai bahasa pemrograman yang banyak digunakan dan didukung oleh berbagai perpustakaan daring membuat kemungkinan penggunaan PLAXIS dalam aplikasi khusus (otomatis) menjadi tak terbatas.

3.16.1 Cara Kerja PLAXIS Secara Umum

Secara umum aplikasi PLAXIS dapat digunakan dalam berbagai hal pemodelan dalam teknik sipil guna untuk mengetahui, menghitung perilaku tanah, berikut merupakan langkah-langkah menggunakan PLAXIS secara umum:

1. Gambarkan model tanah dan struktur di dalam PLAXIS (misalnya lapisan tanah, fondasi, jalan).
2. Masukkan sifat-sifat tanah, seperti kuat geser, modulus elastisitas.
3. Tentukan beban yang akan diterapkan (misalnya beban kendaraan, bangunan).
4. Simulasikan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*/FEM).
5. Lihat hasilnya, seperti seberapa besar tanah turun, retak, atau tidak stabil

3.16.2 Cara Untuk Mengunduh Aplikasi PLAXIS 2D

Kamu bisa mendapatkan aplikasi PLAXIS dari web resminya, namun khusus untuk keperluan pendidikan, PLAXIS menyediakan versi gratisnya dalam jangka waktu tertentu atau yang sering disebut dengan versi *student*.

1. Silahkan masuk ke web PLAXIS nya terlebih dahulu pada link berikut

<https://education.bentley.com/Products>



Gambar 3.4 halaman web resmi plaxis

2. Berikutnya silahkan membuat akun dengan klik tombol login pada bagian kanan atas halaman.



Gambar 3.5 tombol login

3. Lalu klik “don’t have account? Register now” dibawah tombol next untuk membuat akun.

The Bentley logo is displayed in a large, bold, black font. Below the logo is a login form. It starts with the label "Email Address" above a text input field. Below the input field is a blue button labeled "Next". Underneath the "Next" button is a link that reads "Don't have an account? Register now".

Gambar 3.6 portal login

- Setelah pembuatan akun selesai, silahkan lengkapi data profil terlebih dahulu

Bentley Education Profile

Name of institution: [Text Field]
Field of Study: [Dropdown Menu]
Career Interest: [Dropdown Menu]

Course Location: [Text Field]
Course Type: [Dropdown Menu]
Course Duration: [Dropdown Menu]
Previous Year of Course: [Dropdown Menu]

Areas of Interest

Civil Engineering, Architecture, Construction Management, BIM, Mining and Visualization, Digital Twin & IoT, Supply Modeling, GIS

For downloading the software you need to be 18 years old or above.
 Bentley and its affiliates will use the information you provide to share information about Bentley products, services and events that are likely to be of interest to you. Bentley will also process your

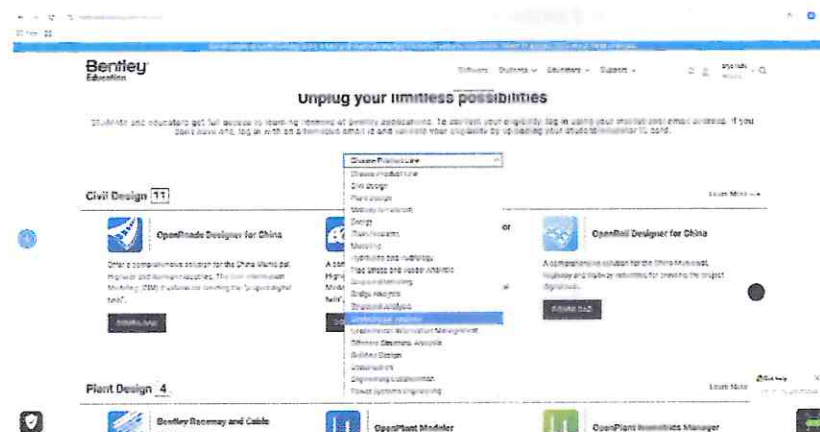
Gambar 3.7 profile user

- Setelah selesai melengkapi profile silahkan klik bagian software untuk mencari aplikasi PLAXIS.



Gambar 3.8 toolbar

- Lalu pilih pada bagian geotechnical analysis dan klik tombol download untuk mulai mengunduh aplikasi



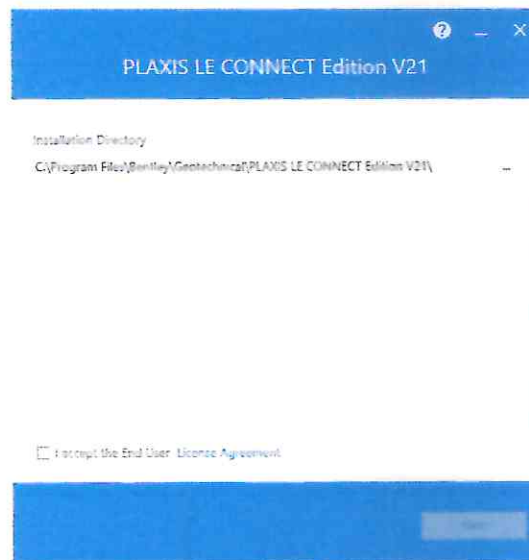
Gambar 3.9 Dropdown List



Gambar 3.10 halaman download

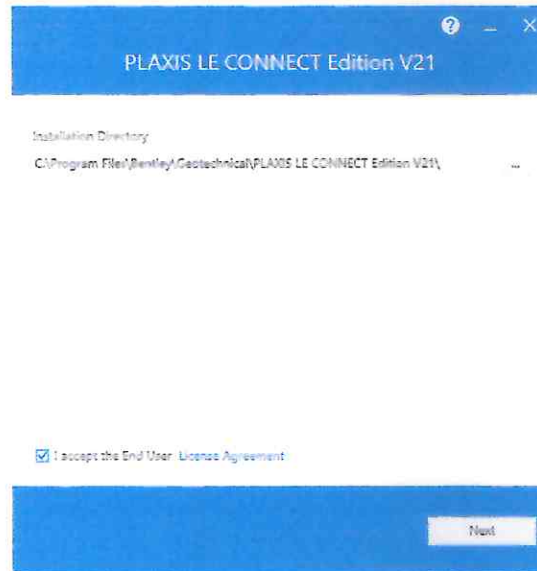
3.6.3 Menginstall Aplikasi PLAXIS 2D Pada Komputer Atau Laptop

1. Setelah file instalasi sudah diunduh, silahkan di buka dan akan muncul menu seperti ini.



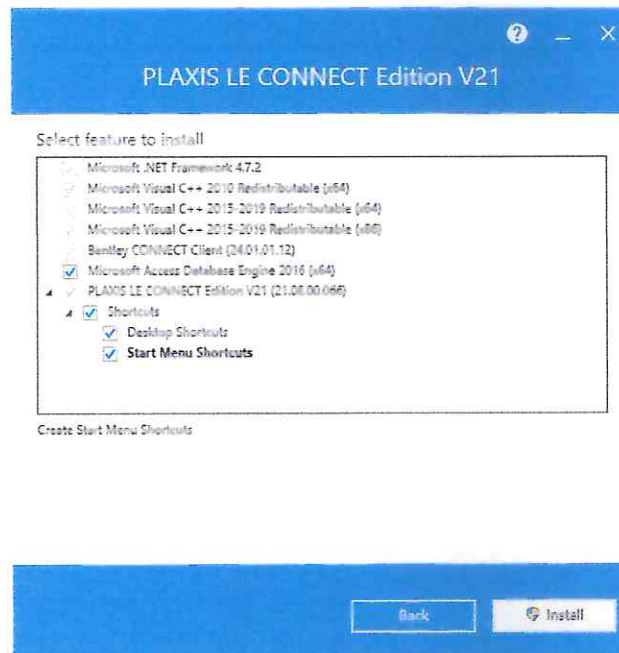
Gambar 3.11 instalasi PLAXIS

2. Silahkan centang pada box “*I accept*” dan klik *next*



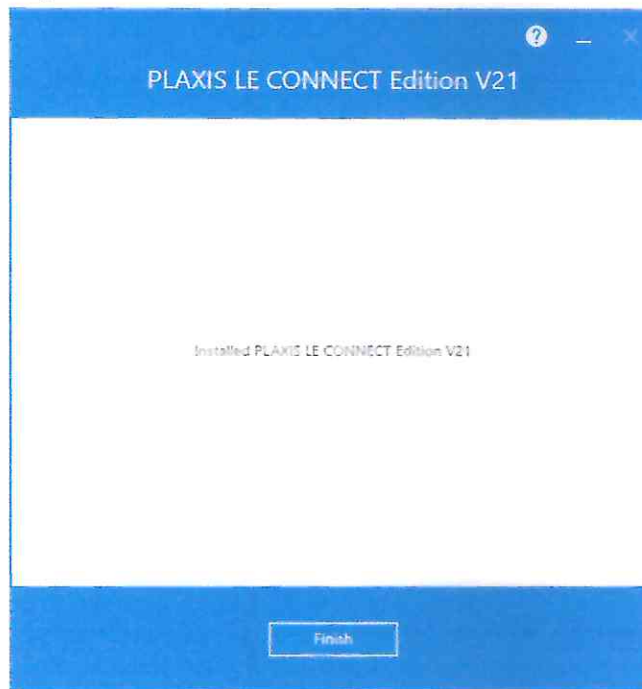
Gambar 3.12 *check box* dan *tombol next*

3. Nah pada tahap ini tidak ada yang perlu diatur, cukup tekan tombol *next* untuk melanjutkan instalasi.



Gambar 3.13 pilihan fitur aplikasi

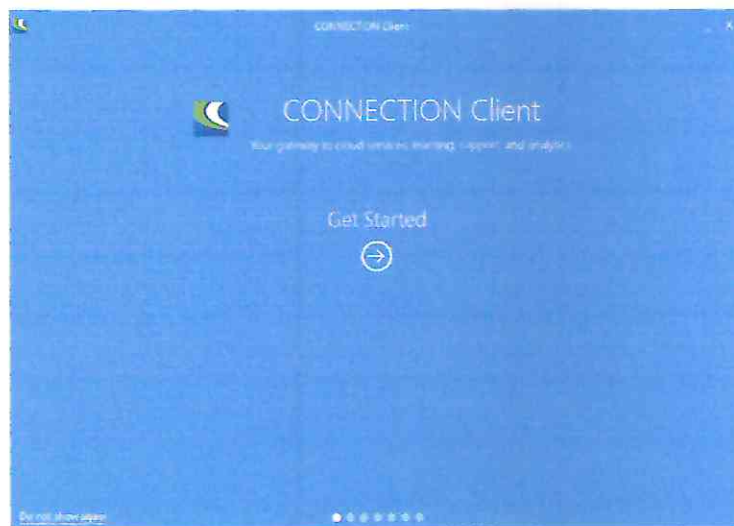
4. Setelah proses selesai, silahkan klik tombol *finish* untuk menyelesaikan instalasi aplikasi.



Gambar 3.14 instalasi aplikasi selesai

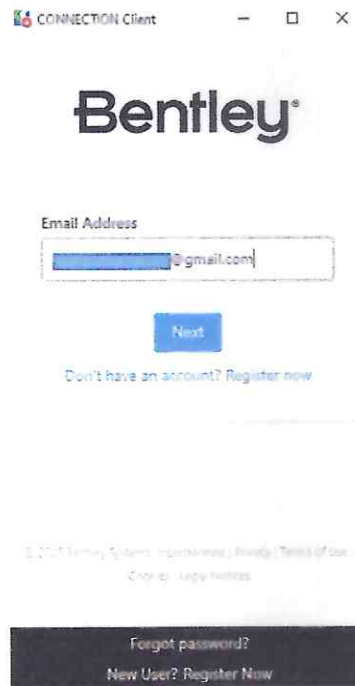
3.6.4 Menyinkronkan Aplikasi PLAXIS 2D

1. Setelah instalasi selesai akan muncul jendela seperti ini, silahkan klik tanda silang (x) untuk menutup jendela.



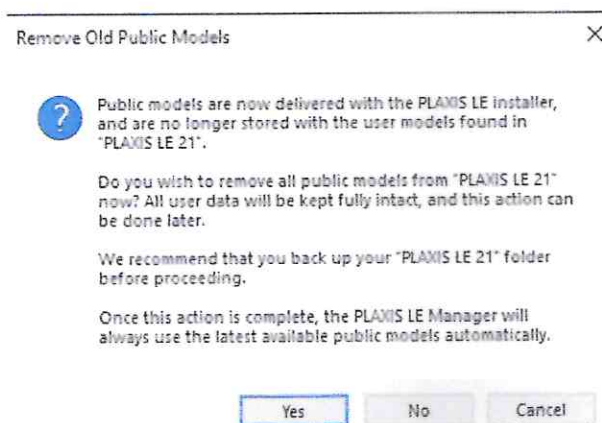
Gambar 3.15 halaman *start login* aplikasi.

2. Lalu silahkan sinkronkan akun anda yang telah dibuat tadi pada bagian jedela sebelah kanan.



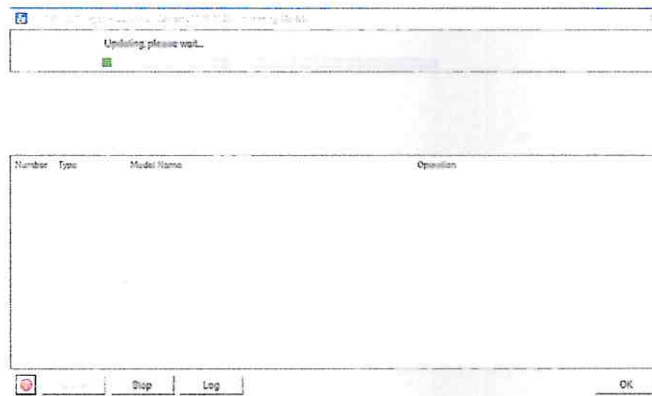
Gambar 3.16 halaman *login*

3. Namun jika muncul tampilan sebagai berikut, klik *yes* untuk melanjutkan.



Gambar 3.17 *update data aplikasi*

4. Silahkan tunggu data aplikasi di *update*.



Gambar 3.18 proses *update* data aplikasi.

5. Aplikasi PLAXIS siap untuk digunakan.



Gambar 3.19 tampilan awal PLAXIS.

3.6.5 Menjalankan Aplikasi PLAXIS 2D

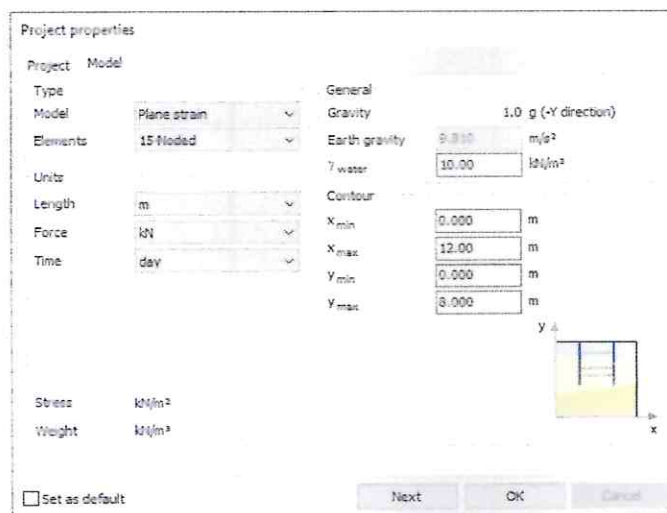
1. Persiapkan data yang diperlukan seperti data elevasi, beban yang akan dimasukkan, data klasifikasi tanah, dan desain tanah yang sudah dibuat sebelumnya.

2. Buka aplikasi PLAXIS dan klik *creat a new model* untuk memulai project yang akan dibuat



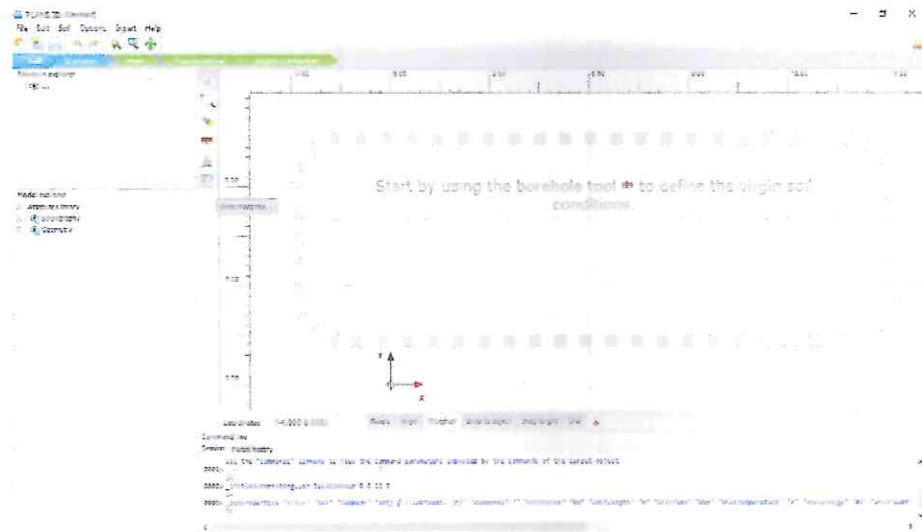
Gambar 3.20 tampilan awal PLAXIS

3. Masukkan nama dan perkiraan luas x, y, dan jenis suhu dari model yang akan dibuat.



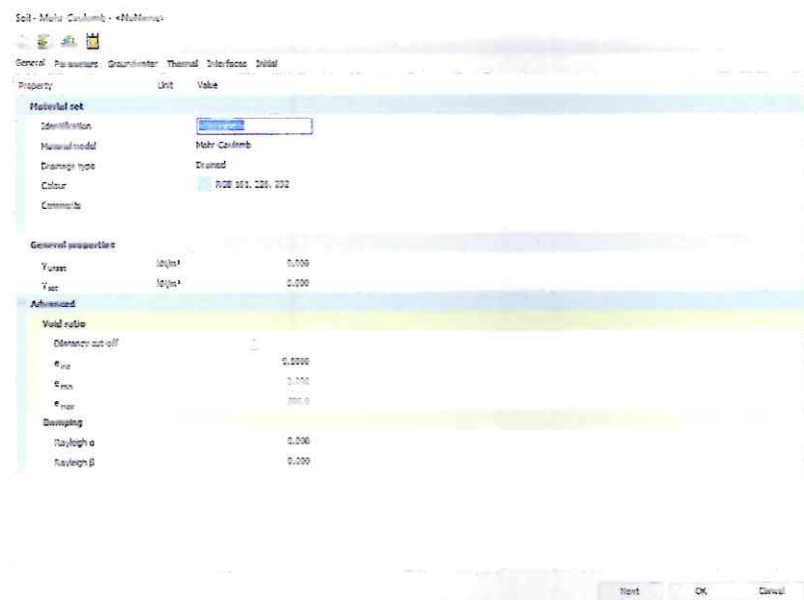
Gambar 3.21 nama dan perkiraan luas x dan y

- Masukkan data klasifikasi tanah yang diperlukan ke dalam aplikasi PLAXIS pada bagian *show material*.



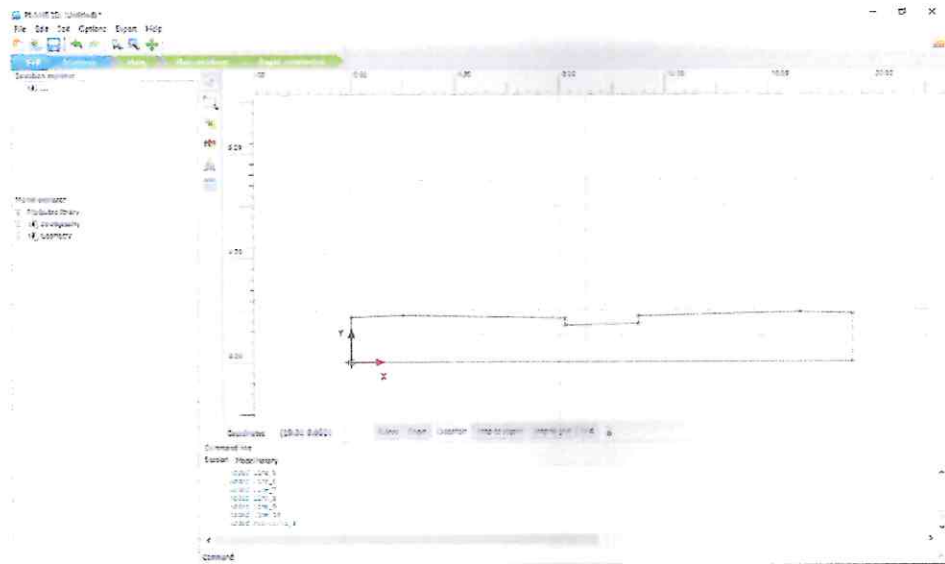
Gambar 3.22 tombol *show material*

- Masukkan data tanah, mulai dari γ sat, γ unsat, modulus elastisitas, kohesi, poisson ratio, dan sudut geser



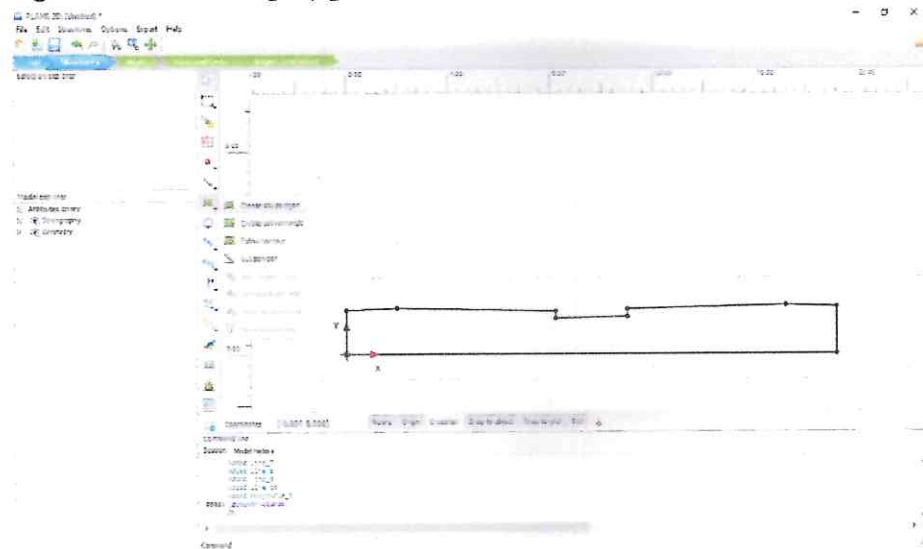
Gambar 3.23 masukkan data tanah

6. Lalu masukkan data dxf atau desain yang sudah dibuat sebelumnya



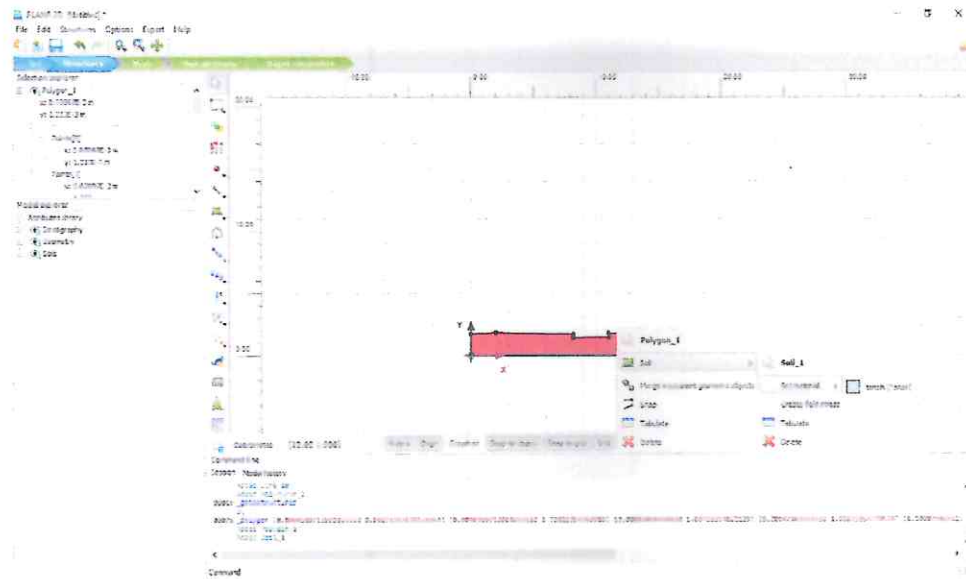
Gambar 3.24 desain

7. Setelah itu buat garis mengikuti desain yang telah dibuat sebelumnya dengan *tool creat soil polygon*.



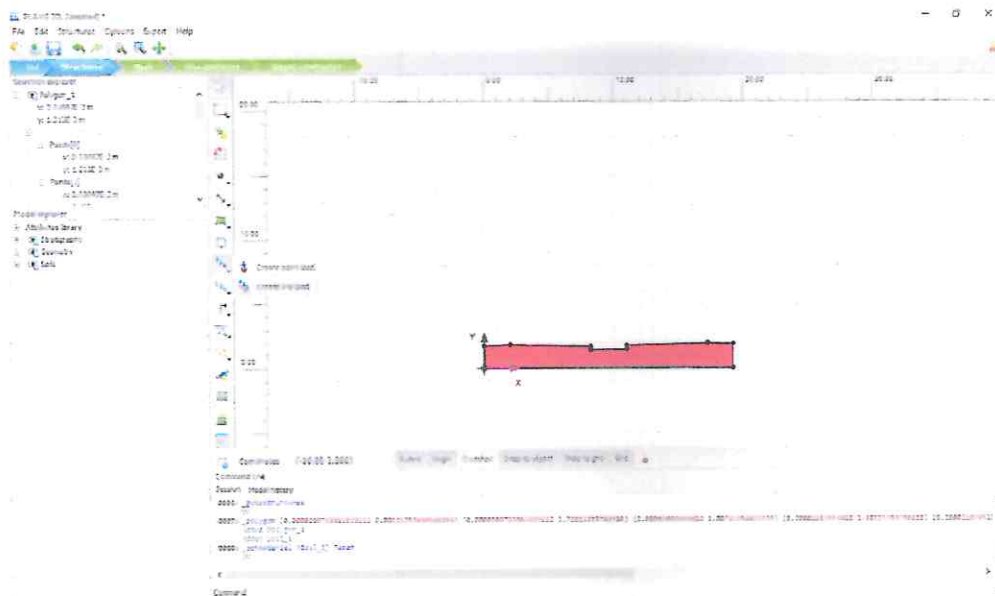
Gambar 3.25 creat polygon soil

8. Lalu klik kanan dan masukkan data tanah yang telah dibuat tadi.



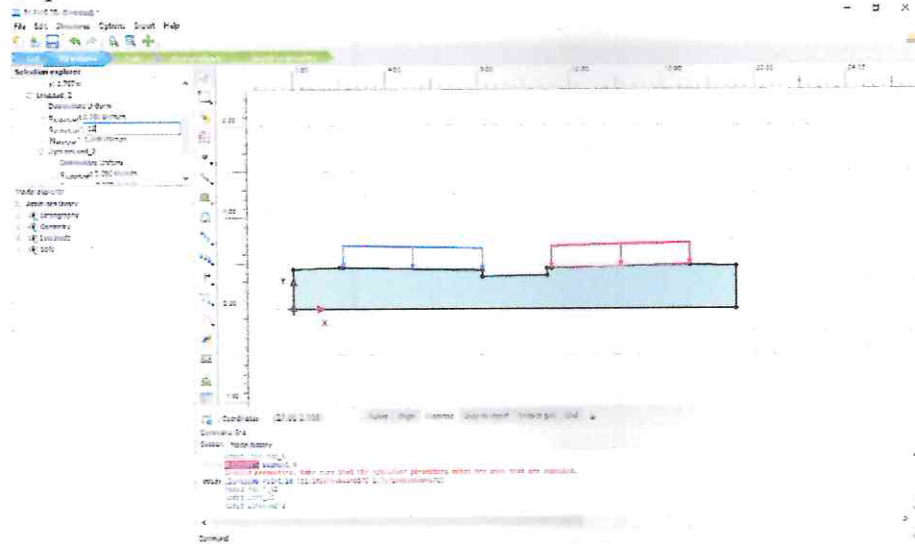
Gambar 3.26 masukkan tanah kedesain

9. Masukkan beban yang telah ditentukan menggunakan tool creat line load

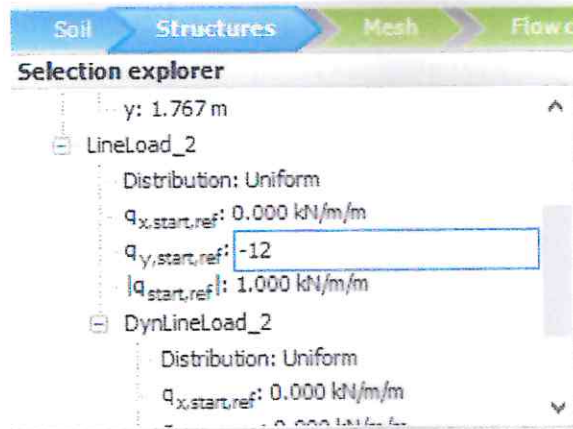


Gambar 3.27 masukkan pembebanan

10. jangan lupa masukkan juga berat pembebanan pada kolom selection explorer

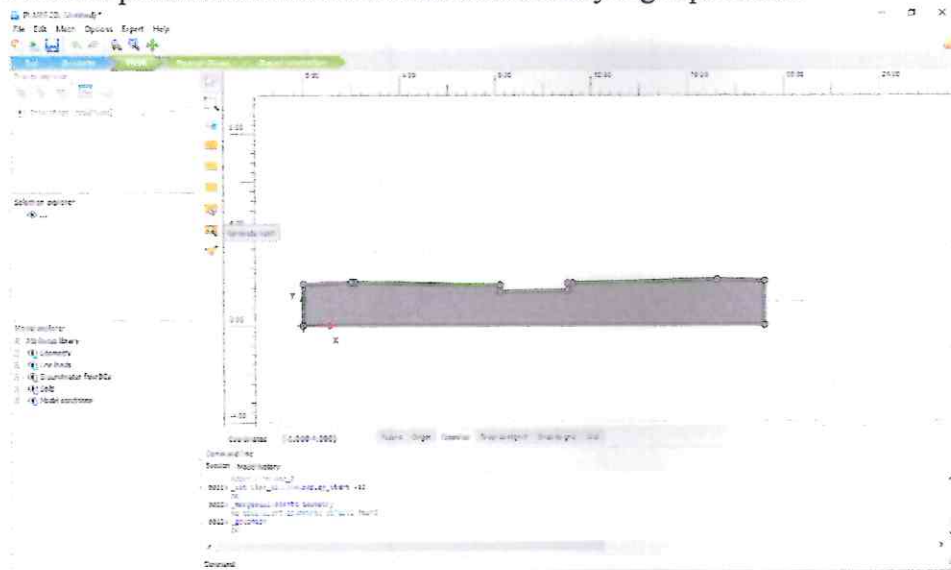


Gambar 3.28 buat pembebanan



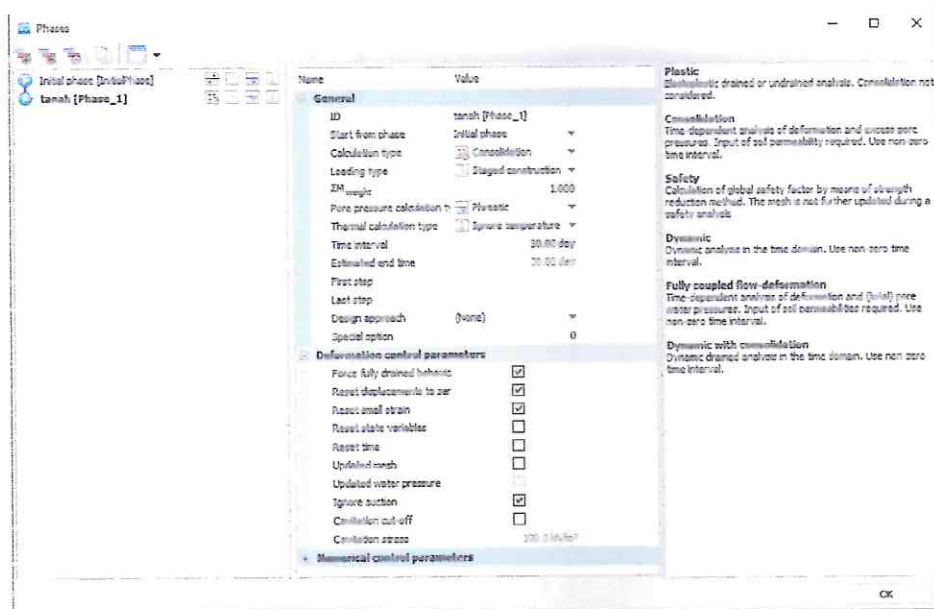
Gambar 3.29 input beban

11. Lalu pindah ke *menu mesh* dan buat mesh yang diperlukan



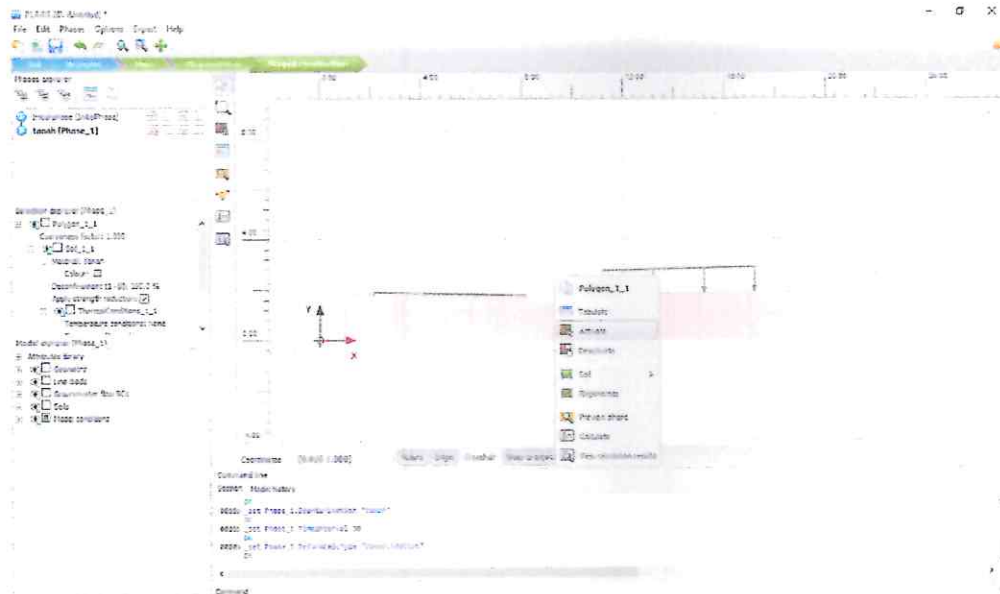
Gambar 3.30 *menu mesh*

12. Tambahkan juga data phase tanah sebagai tempat plaxis untuk melakukan simulasi nantinya, pada phase ini bisa juga dimasukkan perkiraan hari yang diinginkan



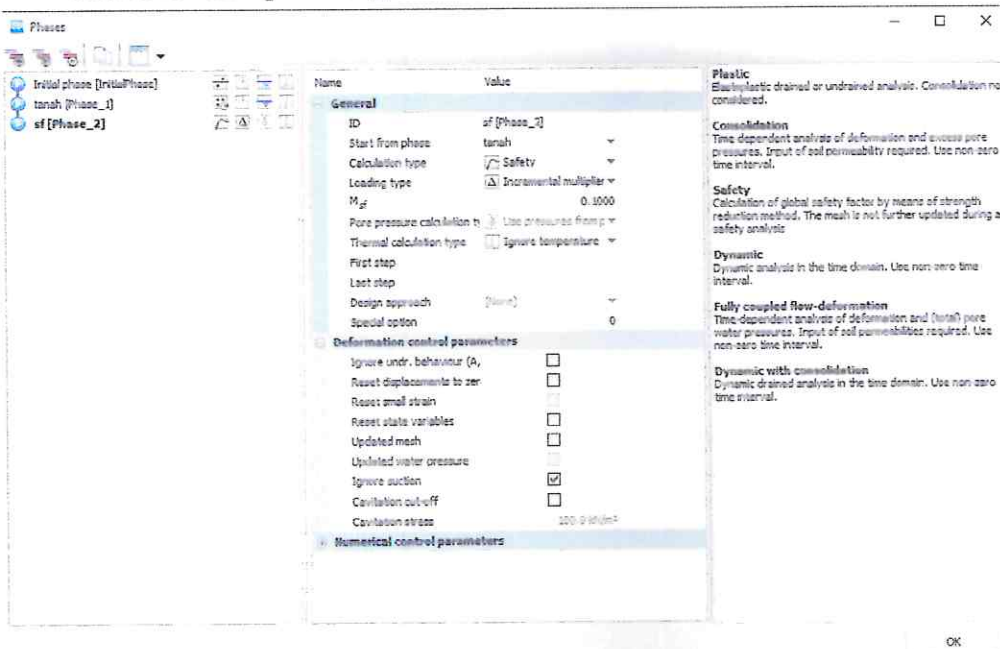
Gambar 3.31 data beban

13. Setelah selesai menambahkan phase tanah, jangan lupa aktifkan tanah yang ingin dihitung dengan cara klik kanan dan klik *activate*.



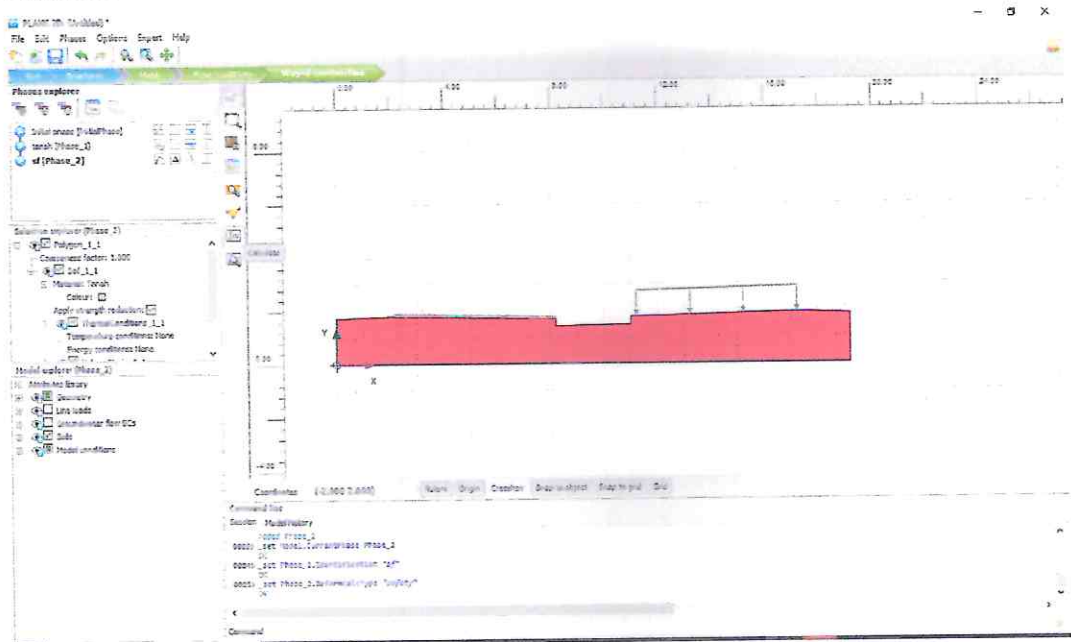
Gambar 3.32 mengaktifkan semua lapisan

14. Lalu tambahkan juga *phase safety factor* jika ingin menghitung faktor keamanan dari perhitungan tersebut.



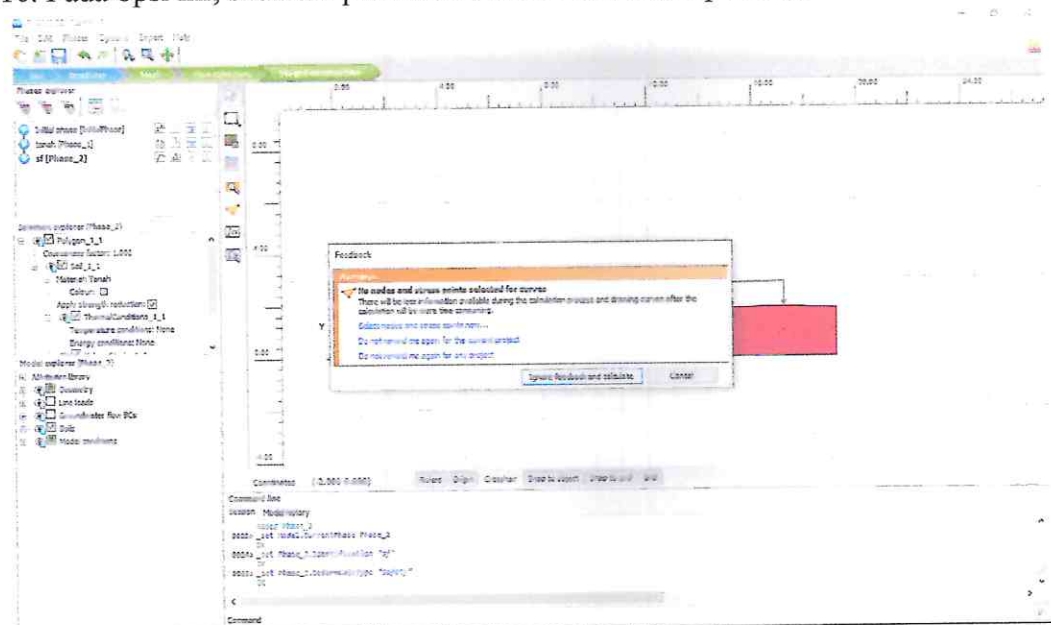
Gambar 3.33 tambahkan *safety factor*

15. Untuk memulai proses perhitungan, klik *calculate and ignore feedback and calculate*



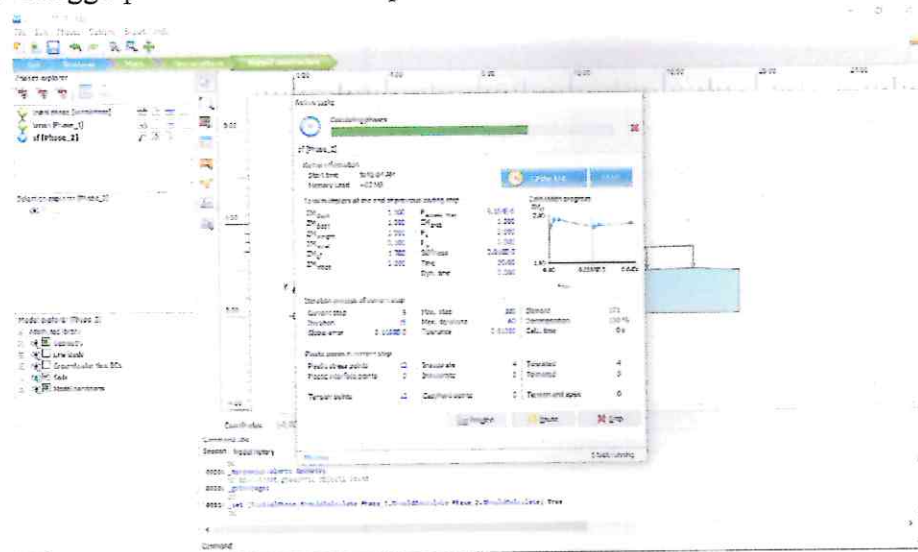
Gambar 3.34 opsi *calculate*

16. Pada opsi ini, silahkan pilih *select nodes and stress point now*



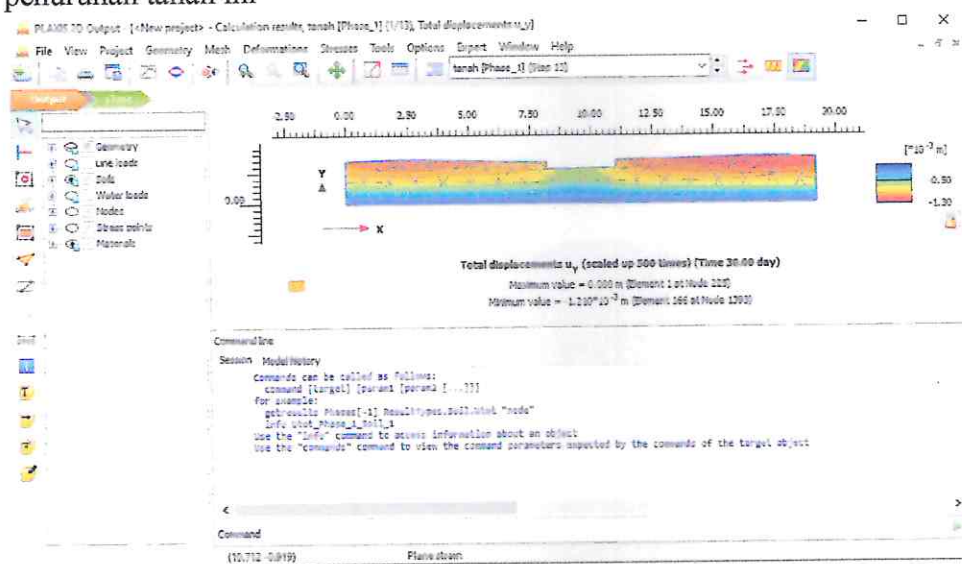
Gambar 3.35 *select nodes and stress point now*

17. Tunggu proses kalkulasi sampai selesai



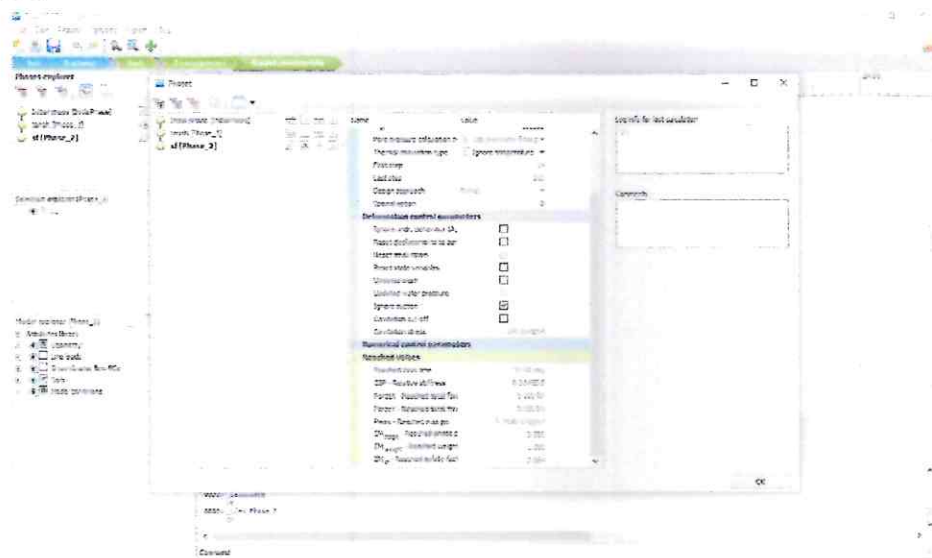
Gambar 3.36 proses kalkulasi

18. Setelah perhitungan selesai, kamu dapat melihat hasil perhitungan simulasi penurunan tanah ini



Gambar 3.37 hasil menggunakan *total displacements*

19. Kamu juga dapat melihat faktor keamanan yang didapat melalui menu phases



Gambar 3.38 hasil safety factor

3.17 Lalu Lintas Harian Rata Rata

Menurut Handayani (2006), lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh data tersebut dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata, yaitu lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dan lalu lintas harian rata-rata (LHR).

3.17.1. METODE MKJI

Metode MKJI (Manual Kapasitas Jalan Indonesia) adalah suatu cara untuk menghitung kapasitas dan kinerja ruas jalan, termasuk dalam perhitungan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). MKJI digunakan sebagai standar untuk mengevaluasi kinerja jalan, dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti volume lalu lintas, kecepatan, dan kepadatan kendaraan.

1. Volume Lalu Lintas

Volume lalu lintas adalah banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik atau garis tertentu pada suatu penampang melintang jalan. Data pencacahan volume lalu lintas diperlukan adalah untuk informasi

fase yang perencanaan, desain, manajemen sampai pengoperasian jalan (Sukirman 1994). Sedangkan menurut MKJI 1997, volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melalui titik pada jalan persatuan waktu, dinyatakan dalam kend/jam (Q_{kend}), smp/jam (Q_{smp}). Volume lalu lintas pada suatu jalan bervariasi tergantung pada arah arus lalu lintas, volume harian, bulanan, tahunan dan pada komposisi kendaraan. Jenis kendaraan dalam perhitungan ini di klasifikasikan dalam 3 macam kendaraan yaitu :

- 1) Kendaraan ringan (*Light Vehicles* = LV)
- 2) Kendaraan berat (*Heavy Vehicles* = HV)
- 3) Sepeda motor (*Motor Cycle* = MC)

Data jumlah kendaraan kemudian dihitung dalam kendaraan/jam untuk kendaraan dengan faktor koreksi.

Arus lalu lintas total dalam smp/jam adalah:

$$Q_{smp} = (empLV \times LV + empHV \times HV + empMC \times MC) \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Volume kendaraan bermotor (smp/jam).

$Emp\ LV$ = Nilai ekivalen mobil penumpang untuk kendaraan ringan.

$Emp\ HV$ = Nilai ekivalen mobil penumpang untuk kendaraan berat.

$Emp\ MC$ = Nilai ekivalen mobil penumpang untuk sepeda motor.

LV = Notasi untuk kendaraan ringan.

HV = Notasi untuk kendaraan berat.

MC = Notasi untuk sepeda motor.

Tabel 3.8 Keterangan Nilai Satuan Mobil Penumpang (SMP) (MKJI, 1997)

Jenis Kendaraan	Nilai Satuan Mobil Peumpang (smp/ jam)
Kendaraan Ringan (LV)	1.0
Sepeda Motor (MC)	0.5
Kendaraan Sedang (HV)	1.3

Sumber MKJI, 1997

2. Kapasitas Dasar

Kapasitas jalan perkotaan dihitung dari kapasitas dasar. Kapasitas dasar adalah jumlah kendaraan maksimum yang dapat melintasi suatu penampang pada suatu jalur atau jalan selama 1 (satu) jam, dalam keadaan jalan dan lalu lintas yang mendekati ideal dapat dicapai. Besarnya kapasitas jalan dihitung berdasarkan MKJI, 1997 dan dapat dijabarkan seperti pada Persamaan sebagai berikut :

$$C = C_o \times FCW \times FCSP \times FCSF \times FCC \text{ (smp/jam)}$$

Di mana:

C	= Kapasitas ruas jalan (smp/jam).
C _o	= Kapasitas dasar (smp/jam).
FCW	= Faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu lintas.
FCSP	= Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisahan arah (khusus untuk jalan tak terbagi).
FCSF	=Faktor penyesuaian kapasitas utnuk hambatan samping dan bahu jalan (kereb).
FCSS	= Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota.

Besarnya kapasitas dasar jalan kota yang dijadikan acuan adalah sebagai Berikut :

Tabel 3.9 Kapasias Dasar

Tipe Jalan	Kapasitas Dasar (SMP/Jam)	Keterangan
4 Jalur dipisah atau jalan satu arah	1.650	Tiap Lajur
4 Lajur tidak dipisah	1.500	Tiap Lajur
2 lajur tidak dipisah	2.900	Kedua Lajur

Sumber: MKJI, 1997

3.18 Klasifikasi Jalan

Berdasarkan Keputusan Bupati Rokan Hulu NO :Kpts.100.3.3.2/PUPR/170/2024 Tentang penetapan ruas jalan menurut statusnya, Ruas jalan lingkaran boter dikategorikan sebagai jalan Kabupaten di Rokan Hulu. Jalan lingkaran Boter terletak di Desa Rambah Tengah Hilir, Kecamatan Rambah, Kabupaten Rokan Hulu, Riau. Jalan Lingkaran Boter merupakan jalan dengan tipe jalan empat-lajur-dua-arah terbagi (yaitu dengan median) (4/2 D) dan termasuk jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan.

3.18.1 Klafisikasi Jalan Menurut Fungsinya

Menurut peraturan pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan, klasifikasi jalan berdasarkan fungsi adalah sebagai berikut:

Tabel 3.10 Klasifikasi berdasarkan fungsinya

Klasifikasi Jalan	Fungsi	Contoh Jalan
Jalan Arteri	Menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah atau antar pusat kegiatan nasional.	Jalan Nasional. Jalan Tol
Jalan Kolektor	Menghubungkan pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal atau antar pusat kegiatan wilayah.	Jalan Provinsi. Jalan Penghubung antar kota
Jalan Lokal	Menghubungkan pusat kegiatan lokal dengan pusat kegiatan lingkungan atau antar pusat kegiatan lingkungan.	Jalan Kabupaten. Jalan Kecamatan
Jalan Lingkungan	Menghubungkan antar pusat kegiatan di dalam kawasan perdesaan atau lingkungan.	Jalan Perumahan. Jalan Lingkungan Perkampungan

Sumber : PP No 34 Tahun 2006

3.8.2 Klasifikasi Jalan berdasarkan kelas

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2024 Tentang Kelas Jalan Berdasarkan Penggunaan Jalan Serta Kelancaran Lalu lintas dan Angkutan Jalan. klasifikasi jalan berdasarkan kelas nya sebagai berikut:

Tabel 3. 11 Klasifikasi Jalan menurut kelasnya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Lebar Kendaraan (mm)	Panjang Kendaraan (mm)	Tinggi Kendaraan (mm)	MST (Ton)
Kelas I	Arteri	≤ 2.550	≤ 18.000	≤ 4.200	10
Kelas II	Arteri & Kolektor	≤ 2.551	≤ 12.000	≤ 4.200	8
Kelas IIIA	Arteri	≤ 2.200	≤ 9.000	≤ 3.500	8
Kelas IIIB	Kolektor	≤ 2.200	≤ 9.000	≤ 3.500	8
Kelas IIIC	Lokal	≤ 2.200	≤ 9.000	≤ 3.500	8

Sumber : PM PUPR No 13 tahun 2024

Menurut SK Bupati tentang penetapan ruas jalan menurut statusnya sebagai jalan Kabupaten di Kabupaten Rokan Hulu Tahun 2024, Bahwa ruas Jalan lingkaran Boter dikategorikan jalan dengan Kelas IIIB, lebar kendaraan ≤ 2.200 mm, Panjang kendaraan ≤ 9.000 mm, Tinggi kendaraan ≤ 3.500 mm dan MST 8 Ton.

3.9 Safety Factor

Secara umum *Safety factor* pada tanah adalah rasio yang menunjukkan stabilitas lereng, dengan membandingkan gaya yang menahan lereng (kekuatan geser) terhadap gaya yang mendorong lereng untuk longsor (tegangan geser). Nilai safety factor yang lebih tinggi dari 1,0 menandakan lereng relatif stabil, sementara nilai kurang dari 1,0 menunjukkan lereng berpotensi longsor.

Menurut Bowles (melalui penjelasannya), safety factor pada tanah adalah rasio antara tahanan geser (kekuatan tanah untuk menahan geseran) dan gaya dorong (gaya yang menyebabkan tanah bergerak, seperti beratnya sendiri) sepanjang bidang gelincir potensial. Ini adalah ukuran seberapa besar kapasitas tanah dalam menahan beban dibandingkan dengan beban yang bekerja.