BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Proyek Pembangunan Tol Jogja – Bawen STA 37+950 – STA 38+100



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.1.2 Objek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada analisis parameter tanah eksisting berdasarkan data Borlog dan data lab, pemodelan dan analisis timbunan tanpa perkuatan tanah, dan pemodelan dan analisis timbunan dengan perkuatan cerucuk *minipile*.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dan mengumpulkan sumber – sumber berdasarkan buku, jurnal, atau penelitian terdahulu mengenai perkuatan tanah, stabilitas lereng, perilaku *minipile* sebagai perkuatan tanah, metode analisis *finite element method* (FEM), dan penggunaan *software* Program FEM 2D.

3.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada Proyek Jalan Tol Jogja – Bawen STA 37+950 – STA 38+100 pada kondisi tanah eksisiting berdasarkan data sekunder berupa data borlog dan data laboratorium.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder meliputi data tanah berupa data Borlog, data laboratorium, gambar potongan melintang tanah eksisting dan rencana timbunan pada proyek Jalan Tol Jogja – Bawen STA 37+950 – STA 38+100.

3.4.1 Data Tanah

Data tanah hasil uji lapangan yang tersedia berupa data NSPT dan data Borlog yang didapatkan dari PT. GEOCIPTA BANGUN OPTIMA. Data NSPT dan borlog yang tersedia adalah pada titik *borehole* BH1 ABT2 STA 38+016, BH2 ABT1 STA 38+041, dan BH2 STA 38+075. Selain data uji lapangan, terdapat data laboratorium pada STA 38+075 dari kedalaman 3,5 – 10m. Ketiga titik *borehole* merupakan tanah lempung, kecuali pada titik BH2 ABT1 STA 38+041 dimana terdapat lapisan tanah pasir setebal 2m pada kedalaman 22 – 24m.



Gambar 3.2 Data NSPT BH1 ABT2 STA 38+016



Gambar 3.3 Data NSPT BH2 ABT1 STA 38+041



Gambar 3.4 Data NSPT BH2 STA 38+075

| San | nple | UDS | UDS |
|----------|--------------------|----------|----------|
| Depth | m | 3,5-4 | 9,5 – 10 |
| γ | t/m ³ | 1,34 | 1,46 |
| ω | % | 89,31 | 73,49 |
| Gs | - | 2,63 | 2,64 |
| γd | t/m ³ | 0,71 | 0,84 |
| e | - | 2,72 | 2,13 |
| n | - | 0,73 | 0,68 |
| Sr | % | 86,17 | 90,97 |
| PL | % | 40,12 | 33,48 |
| LL | % | 99,52 | 74,10 |
| PI | % | 59,40 | 40,62 |
| Gravel | % | 0,00 | 0,00 |
| (G) | | | |
| Sand (S) | % | 15,04 | 24,66 |
| Silt (M) | % | 32,46 | 36,75 |
| Clay (C) | % | 52,50 | 38,59 |
| ¢ | 0 | 11,70 | 8,14 |
| с | kg/cm ² | 0,22 | 0,19 |
| Cc | - | 0,35 | 0,25 |
| Cv | cm2/scd | 6,49E-03 | 6,63E-03 |

Tabel 3.1 Data Lab *Borehole* 2 STA 38+075

3.4.2 Data Teknis Minipile

Spesifikasi *minipile* yang akan digunakan pada analisis perkuatan tanah ini menggunakan *minipile* JHS *system* dari PT. SAETI CONCRETINDO WAHANA, spesifikasi dari *minipile* dapat dilihat dari tabel di bawah ini

| Bentuk penampang | Dimensi (mm) | Daya Dukung (Ton) |
|------------------|--------------|-------------------|
| Persegi | • 200x200 | • 30 – 35 |
| | • 250x250 | • 40 – 50 |
| Segitiga | • 280 | • 25 - 30 |
| | • 320 | • 35 - 40 |

Tabel 3.2 Dimensi Minipile

Tabel 3.3 Spesifikasi Minipile

| Ukuran | | 25x25 | cm |
|------------------|----------------|--------------|-----------------|
| b (mm) | | 250,00 | mm |
| h (mm) | | 250,00 | mm |
| Luas (A) | | 62.500,00 | mm ² |
| Zb | | 2.604.167,00 | mm ³ |
| No of Strand | | 4,00 | |
| Type of Strand | | Bar D16 | |
| Ultimate Normal | Comperssion | 1.278,00 | kN |
| Capacity | Tension | 293,00 | kN |
| Shear Capacity | | 53,68 | kN |
| Torsion Capacity | | 5,03 | kNm |
| Crack Moment | | 22,47 | kNm |
| Bending | $\mathbf{P}=0$ | 29,00 | kNm |
| Capacity | Max | 53,00 | kNm |
| Ultimate | | | |

3.4.3 Data Potongan Melintang

Data gambar potongan melintang digunakan gambar potongan dengan tinggi timbunan tertinggi, yaitu pada STA 38+025 dengan ketinggian timbunan 9,538m, adapun gambar potongan melintang sebagai berikut.



Gambar 3.5 Potongan Melintang STA 38+025

3.4.4 Beban Struktur

Beban struktur ketebalan masing – masing lapisan perkerasan disesuaikan dengan gambar potongan melintang jalan, Berat isi masing – masing lapisan disesuaikan dengan SNI 1725 2016. Didapatkan berat struktur sebesar 14,68 kPa Di bawah ini merupakan tabel beban perkerasan.

Tabel 3.4 Beban Struktur

| No | Lapisan | Tebal | Berat isi | Р |
|------|----------------------|-------|-----------|---------|
| | | (m) | (kN/m3) | (kN/m2) |
| 1 | Surface | 0,290 | 22,000 | 6,380 |
| 2 | Drainase | 0,100 | 20,750 | 2,075 |
| 3 | Cement Treated Based | 0,150 | 20,750 | 3,113 |
| 4 | Agregat Kelas B | 0,150 | 20,750 | 3,113 |
| Tota | 1 | | | 14,680 |

3.4.5 Data Beban Lalu Lintas

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan (2021), Jalan tol termasuk pada Jalan kelas I dimana didapatkan beban lalu lintas sebesar 15 kPa.

| Kelas Jalan | Beban Lalu Lintas | Beban di Luar Jalan ^(*) |
|-------------|-------------------|------------------------------------|
| | (kPa) | (kPa) |
| Ι | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

Tabel 3.5 Beban Lalu Lintas

3.5 Pengolahan Data dan Analisis

Pengolahan data yang telah didapat menggunakan *software* Microsoft Excel serta pemodelan dan analisis menggunakan *software* Program FEM 2D V2O. Analisis perkuatan dengan variasi pemodelan, antara lain analisis timbunan pada tanah eksisting tanpa perkuatan dan analisis timbunan pada tanah yang sudah diberi perkuatan cerucuk.

3.5.1 Pengolahan Data dengan Microsoft Excel

Penggunaan Microsoft Excel ditujukan untuk analisis data berupa data borlog dan data laboratorium untuk mendapatkan gambaran stratifikasi tanah dan parameter tanah, serta analisis daya dukung minipile yang selanjutnya akan diinput dan dimodelkan pada Program FEM 2D.

3.5.2 Pemodelan dan Analisis Menggunakan Program FEM 2D

Pemodelan dan analisis pada Program FEM 2D memiliki variasi pemodelan, diantaranya pemodelan timbunan tanpa perkuatan cerucuk *minipile* dan pemodelan timbunan dengan perkuatan cerucuk *minipile*. Masing – masing variasi pemodelan diberikan beban lalu lintas. Di bawah ini merupakan langkah – langkah analisis menggunakan *software* Program FEM 2D.

1. Open/New Project Program FEM 2D

Buka *software* Program FEM 2D, lalu akan muncul pilihan *start a new project* atau *open an eksisting project*. Kemudian pilih *start a new project* untuk memulai pekerjaan baru. Pada pengaturan *general properties* pilih tab *project* untuk memberi nama proyek pada tab *title*, setelah itu pilih tab model untuk menentukan settingan awal, pilih model *plane strain* dan pada opsi *elements* pilih 15 nodes, semakin banyak jumlah *nodes* yang dipilih semakin akuat hasilnya. Tentukan satuan yang akan dipakai. Pada bagian *contour* boleh tidak diisi jika pemodelan menggunakan opsi *import* structures, jika pemodelan dilakukan secara manual di Program FEM 2D tetapkan batasan dimensi sesuai dengan stratifikasi tanah dan timbunan.



Gambar 3.6 Dialog Start a New Project

| 🔤 Project prop | perties | | | | — | | × |
|----------------|--------------|--------|------------------|--------|-----|-----|------|
| Project Mode | Constants | | | | | | |
| Туре | | | Contour | | | | |
| Model | Plane strain | ~ | × _{min} | -100,0 | m | | |
| Elements | 15-Noded | ~ | x _{max} | 100,0 | m | | |
| Units | | | y _{min} | -50,00 | m | | |
| Length | m | ~ | y _{max} | 25,00 | m | | |
| Force | kN | ~ | | | У 🛔 | | _ |
| Time | day | ~ | | | | | |
| Mass | t | \sim | | | | | |
| Temperature | К | ~ | | | | | × |
| Energy | kJ | ~ | | | | | |
| Power | kW | \sim | | | | | |
| Stress | kN/m² | | | | | | |
| Weight | kN/m³ | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Set as default | : | | Ne | xt | ОК | Car | ncel |

Gambar 3.7 Tab General Properties

2. Pemodelan Soil Structures dengan Import file .DXF

Pemodelan lapisan tanah dapat menggunakan tab soil pada Program FEM 2D atau dengan mengimpor *soil structures* dari gambar lapisan tanah yang sudah dimodelkan di *software* Autocad, gambar potongan yang sudah dibuat diimport ke Program FEM 2D dengan format .DXF

a. Pilih opsi *import geometry* pada tab *structures*



Gambar 3.8 Import Geometry File .DXF

b. Centang polygons dari file .DXF yang dipilih

| 20 Import geometry | | - | | × |
|--|--------------|----|--------|---|
| Object types Points (0) Lines/Polycurves (0) Polygons (16) Scaling Keep original aspect ratio Scale x 1,000 Scale y 1,000 Offset to global coordinates x 0,000 y 0,000 | Preview Y | | | |
| Bounding box x _{min} <u>-99,80</u> x _{max} 100,2 y _{min} -27,13 y _{max} <u>9,206</u> | | ок | Cancel | |

Gambar 3.9 Tampilan Poligon dari File .DXF

3. Penentuan Material Properties dan pemodelan

Parameter – parameter tanah dan daya dukung *minipile* yang sudah dianalisis sebelumnya dapat diinput dalam *software* Program FEM 2D.

a. Pada tab structures pilih show materials, lalu akan muncul jendela material sets

| | | -108.00 | Material sets | | | Material sets | | | Material sets | | |
|------------|---------|---------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|----------------|
| | 38.00 | | Project materials | >> Sh | now global | indental Sets | >> Show g | global | Material Sets | | >> Show global |
| R . | | | | | | Project materials | | | Project materials | | |
| | - | | Set type | Soil and interface | <u>is</u> ~ | Set type | Embedded beam row | ~ | Set type | Plates | ~ |
| | 18.00 | | Group order | None | ~ | Group order | None | ~ | Group order | None | ~ |
| • | - | | Clay-hard | | | Minipile 25x25 | | | Pilecap | | |
| ×. | | | Clay-medium | | | | | | - necop | | |
| = | 0.00 - | | Clay-soft | | | | | | | | |
| <u> </u> | | | Clay-Stiff | | | | | | | | |
| | - | | Clay-Very Stiff | | | | | | | | |
| 444 C | _ | | Timbunan | | | | | | | | |
| Ψųμ | -18.00 | | | | | | | | | | |
| | - | | | | | | | | | | |
| Γ. | | | | | | | | | | | |
| T + | - | | | | | | | | | | |
| 24 | -38.00 | | | | | | | | | | |
| | _ | | | | | | | | | | |
| | | | New | Edit | SoilTest | <u>N</u> ew | Edit | | New | Edit | |
| | -54.00 | | Copy | Delete | | Сору | Delete | | Сору | Delete | |
| 4 | | | | | | | | | | - | |
| | Show ma | terials | | | ОК | | C | ж | | | ОК |

Gambar 3.10 Jendela Material Sets

b. Tambahkan material baru, pada tab general pilih material model Mohr –
 Coloumb, dan *drained type Undrained* untuk tanah lempung dan *drained* untuk tanah pasir.

| aterial sets | | Soil - Mohr-Coul | omb - Clay-Hard | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------|------|----|--------|
| | >> Show global | 1 🔊 🙆 🚣 1 | | | | | |
| Project materials | | General Paramet | ers Groundwater The | ermal Interfaces Initial | | | |
| Set type | Soil and interfaces $\qquad \lor$ | Property | Unit | Value | | | |
| Group order | None ~ | Material set | | | | | |
| | | Identification | n | Clay-Hard | | | |
| Clav-Hard | | Material mod | iel . | Mohr-Coulomb | | | |
| Clay-Medium | | Drainage typ | e . | Undrained (B) | | | |
| Clay-soft | | Colour | | RGB 226, 187, 182 | | | |
| Clay-Stiff | | Comments | | | | | |
| Clay-Very Stiff | | | | | | | |
| | | General prop | erties | | | | |
| | | Yunsat | kN/m ³ | 17,00 | | | |
| | | Ysat | kN/m³ | 17,00 | | | |
| | | | | | | | |
| | | Void ratio | | | | | |
| | | Dilatancy | cut-off | | | | |
| <u>N</u> ew | Edit | e _{int} | | 0,5000 | | | |
| Сору | Delete | e _{min} | | 0,000 | | | |
| | | | | 000.0 | | | |
| | ОК | | | | Next | OK | Cancel |

Gambar 3.11 General Setting Material

c. Pada tab parameters masukkan nilai parameter tanah berdasarkan data

| oil - Hardening soil - Tin | nbunan | |
|------------------------------|------------------|--------------------|
| ì 🐑 🟯 📋 | | |
| eneral Parameters Grou | undwater Thermal | Interfaces Initial |
| roperty | Unit | Value |
| Stiffness | | |
| E so ref | kN/m² | 250,0E3 |
| E _{oed} ref | kN/m² | 250,0E3 |
| E _{ur} ref | kN/m² | 750,0E3 |
| power (m) | | 0,5000 |
| Alternatives | | |
| Use alternatives | | |
| C _c | | 1,380E-3 |
| C _s | | 0,4140E-3 |
| e init | | 0,5000 |
| Strength | | |
| c' _{ref} | kN/m² | 1,000 |
| φ' (phi) | ۰ | 30,00 |
| ψ (psi) | ۰ | 0,000 |
| Advanced | | |
| Set to default values | | V |
| Stiffness | | |
| v'ur | | 0,2000 |
| Pref | kN/m² | 100,0 |
| κ _o ^{nc} | | 0,5000 |
| Strength | | |
| c' inc | kN/m²/m | 0,000 |
| y _{ref} | m | 0,000 |
| R _f | | 0,9000 |
| | | |

tanah yang sudah diolah.



| becade beam fow - Minipite | 20X20 | |
|-------------------------------|-------|-----------------------------|
| | | |
| perty | Unit | Value |
| laterial set | | |
| Identification | | Minipile 25x25 |
| Comments | | |
| | | |
| Colour | | RGB 199, 82, 143 |
| Material type | | Elastoplastic |
| Properties | | |
| E | kN/m² | 8,310E6 |
| Y | kN/m³ | 24,00 |
| Beam type | | Predefined |
| Predefined beam type | | Massive square beam |
| Width | m | 0,2500 |
| A | m² | 0,06250 |
| I | m4 | 0,3255E-3 |
| L _{spacing} | m | 1,500 |
| Mp | kN m | 18,32 |
| N | kN | 560,0 |
| Rayleigh a | | 0,000 |
| Rayleigh β | | 0,000 |
| Axial skin resistance | | |
| Axial skin resistance | | Multi-linear |
| Multi-linear axial resistance | | Axial skin resistance table |
| ateral resistance | | |
| Lateral resistance | | Unlimited |
| Base resistance | | |

Gambar 3.13 Input Parameter Material Tiang

| PI | ate - Pilecap | | |
|----|-------------------|---------|---------------|
| | <u>.</u> | | |
| м | echanical Thermal | | |
| P | roperty | Unit | Value |
| | Material set | | |
| | Identification | | Pilecap |
| | Comments | | |
| | Colour | | RGB 0, 0, 255 |
| | Material type | | Elastic |
| | Properties | | |
| | Isotropic | | v |
| | EA1 | kN/m | 20 |
| | EA2 | kN/m | 20 |
| | EI | kN m²/m | 30 |
| | d | m | 4,2 |
| | w | kN/m/m | 0,0 |
| | v (nu) | | 0,0 |
| | Rayleigh o | | 0,0 |
| | Rayleigh β | | 0,0 |
| | Prevent punching | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Gambar 3.14 Input Parameter Material Pilecap

d. Pada tab *structures* klik kanan lapisan tanah yang akan ditentukan materialnya lalu pilih jenis tanah yang sesuai.



Gambar 3.15 Set Material pada Model Geometri

4. Pemodelan Struktur Cerucuk dan Pilecap

Cerucuk *minipile* dimodelkan sebagai *Embedded beam row* dan *pilecap* dimodelkan sebagai *plates*.



Gambar 3.16 Pemodelan Cerucuk minipile



Gambar 3.17 Pemodelan Pilecap

5. Input pembebanan

Beban lalu lintas dan perkerasan jalan dimodelkan pada timbunan paling atas, beban lalu lintas dan perkerasan jalan dapat dimodelkan sebagai beban merata.

a. Pada tab *structures* pilih *create line load* lalu tarik garis dari masing – masing ujung timbunan tertinggi.



Gambar 3.18 Input Line Load sebagai Beban Lalu Lintas

b. Tentukan nilai beban lalu lintas dan perkerasan jalan pada jendela selection

explorer



Gambar 3. 19 Input Nilai Beban Lalu Lintas dan Perkerasan Jalan

- 6. Generate Mesh pada Tab Mesh
 - a. Pada tab *mesh* pilih *generate mesh*, pilih *element distribution* medium, lalu pilih ok.

| Soil Structures Mesh Flow con | ditions | s Staged construction | |
|--|---------|---|------|
| ses explorer | | -108.00 -90.00 -72.00 -54.00 -36.00 36.00 | |
| Timbunan 7 [Phase_8] Imbunan 8 [Phase_9] Imbunan 9 [Phase_10] Imbunan 9 [Phase_11] Imbunan 10 [Phase_11] Imbunan 11 [Phase_12] Imbunan 11 [Phase_12] | | 18.00 - | X |
| Pembebanan [Phase_13] | | Enhanced mesh refinements Enhanced mesh refinements Element distribution Generate mesh Expect settings | |
| | 4 | Relative element size -18.00 Element dimensions 12.196 m | |
| lel explorer Attributes library | | -38.00 | icel |

Gambar 3.20 Generate Mesh Model

b. Untuk menampilkan mesh yang sudah dibuat dapat dipilih view mesh, mesh
 berupa elemen – elemen nodes dan lines yang saling terhubung
 menghasilkan bagian segitiga – segitiga yang lebih kecil.



Gambar 3.21 Hasil Meshing

7. Penentuan muka air tanah (MAT)

pada tab *flow conditions*, pilih create water level, lalu tarik garis dari titik elevasi air tanah yang ada pada data tanah.



Gambar 3.22 Penentuan Muka Air Tanah (MAT)

8. Staged Construction

Pada tab *staged constructions* merincikan tahap – tahap konstruksi dari tanah eksisting hingga pembebanan.

a. Menambahkan fase konstruksi dengan memilih *add phase* pada opsi paling kiri dengan ikon (+), lalu klik kanan pada *phase* yang sudah ditambahkan untuk menentukan *calculation type* yang akan dipilih. Untuk fase *initial phase* digunakan K0 *procedure*, fase timbunan, aplikasi cerucuk, dan *pilecap* digunakan opsi kalkulasi *Plastic* dan *Loading Type Staged Construction*, fase konsolidasi menggunakan *calculation type*



Gambar 3.23 Phases Explorer

| Name | | Value |
|------|-----------------------------|------------------------|
| 🗆 G | eneral | |
| | ID | Timbunan 1 |
| | Start from phase | pilecap 🔹 |
| | Calculation type | Plastic 🔻 |
| | Loading type | Staged construction • |
| | ΣM _{stage} | 1.000 |
| | ΣM weight | 1.000 |
| | Pore pressure calculation t | Phreatic 🔹 |
| | Thermal calculation type | 🗄 Ignore temperature 💌 |
| | Time interval | 10.00 day |
| | Estimated end time | 40.00 day |
| | First step | 7 |
| | Last step | 11 |
| | Design approach | (None) 🔹 |
| | Special option | 0 |
| | | |

Gambar 3.24 Menu Calculation Type

b. Aktivasi layer lapisan tanah eksisting dan timbunan dilakukan setelah penambahan fase baru dengan cara klik kanan pada model, lalu pilih *activate*.

| Soll Structures Mesh Structures | litions | Staged construction |
|---|---------|--|
| Phases explorer | R | -108.00 -40.00 -72.00 -54.00 -36.00 -18.00 0.00 18.00 96.00 54.00 -36.00 -14.00 -10.00 |
| Initial phase [Initial Phase] Imitial Phase] | | |
| Selection replaner (InitialPhase) Coarnerses factors 1,000 Coarnerses factors 1,000 Performed Cayooft Acayo terragh reduction: [2] Performed Cayooft Tempa Coarditions, 12,1 Tempa Carditions, None Model explaner (InitialPhase) | | 0.00 |
| Attributes library | | -se do" III Regenerate III review phase Fin Calculator Vex calculator results |

Gambar 3.25 Aktivasi Layer pada setiap Construction Phases



Gambar 3.26 Aktivasi Cerucuk dengan *Pilecap* dengan mencentang opsi *Plates* dan *Embedded Beam Rows*

9. Calculation

Setelah fase konstruksi dirincikan dan masing – masing tanah eksisting dan timbunan diaktivasi, selanjutnya pada tab *staged constructions* pilih *calculate*. Kemudian akan muncul jendela *active tasks* yang menunjukan bahwa proses kalkulasi sedang berlangsung. Setelah itu akan muncul hasil kalkulasi, jika terdapat keterangan bahwa struktur *collapse* maka terjadi *failure* pada timbunan.

| Active tasks | | | | | | |
|--|---|---|---|--|----------------|----|
| Calculating pha | ses | | | | | × |
| Timbunan 10 [Phase_11] | | | | | | |
| Kernel information Start time 20:08 Memory used ~248 | : 18 MB | | 8 | CPUs: 6/6 | 64-bit | |
| Total multipliers at the er | nd of previo | us loading step | | Calculation prog | ress | |
| ΣM dispX ΣM dispY ΣM weight ΣM accel ΣM sf ΣM stage | 1,000 1,000 1,000 0,000 1,000 0,5739 | P excess, max ΣM _{area} F _x F _y Stiffness Time Dyn, time | 5,098 0,9911 0,000 0,000 0,5105 42,87 0,000 | P _{max} 6,00 5,00 5,00 | | 10 |
| | | | | time | Node 11677 N | - |
| Plastic points in current s | 15220 | Inaccurate | 1990 | Tolerated | 1526 | |
| Plastic interface points | 0 | Inaccurate | 0 | Tolerated | 3 | |
| Tension points | 139 | Cap/Hard points | 1824 | Tension and apex | 0 | |
| | | D Previe | w | Pause | X Stop | |
| Minimize | | | | | 1 task running | |

Gambar 3.27 Calculation Phases

10. Output Analisis

Hasil dari analisis seperti deformasi dapat dilihat dengan memilih *view calculation results*. Output yang dicari berupa deformasi, tegangan, penurunan, dan *safety factor* (SF). Gambar di bawah ini merupakan contoh *output* analisis berupa *total displacement*.



Gambar 3.28 Calculation Results

3.6 Kesimpulan dan Saran dari Hasil Analisis.

Pada tahap ini penulisan laporan berisi hasil analisis yang telah didapatkan. Selanjutnya pembuatan solusi dari masalah yang ada, serta pengambilan kesimpulan dari hasil pembahasan.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian



3.7.1 Diagram Alir Analisis Menggunakan Program FEM 2D

Gambar 3.30 Diagram Alir Analisis Menggunakan Program FEM 2D