

## **TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN TEGANGAN & DEFLEKSI MENGGUNAKAN SOFTWARE  
CAESAR II VERSI 5.00 DI SUATU *OILY WATER TREATMENT PROJECT*  
PADA JALUR PIPA 6"-OW-B05 NOMOR 17152 DAN 17153 SERTA  
JALUR PIPA 4"-OW-B05 NOMOR 17171 DAN 17174  
(STUDI KASUS PELATIHAN *PIPE STRESS ANALYSIS*  
DI PT. AP-GREID, JAKARTA)**

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar S-1  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

**KHOZIN AHMAD**  
**20040130035**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2013**

## **TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN TEGANGAN & DEFLEKSI MENGGUNAKAN SOFTWARE  
CAESAR II VERSI 5.00 DI SUATU OILY WATER TREATMENT PROJECT  
PADA JALUR PIPA 6"-OW-B05 NOMOR 17152 DAN 17153 SERTA  
JALUR PIPA 4"-OW-B05 NOMOR 17171 DAN 17174  
(STUDI KASUS PELATIHAN PIPE STRESS ANALYSIS  
DI PT. AP-GREID, JAKARTA)**

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar S-1  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

**KHOZIN AHMAD**  
**20040130035**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2013**

## HALAMAN PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

**PENENTUAN TEGANGAN & DEFLEKSI MENGGUNAKAN SOFTWARE  
CAESAR II VERSI 5.00 DI SUATU OILY WATER TREATMENT PROJECT  
PADA JALUR PIPA 6"-OW-B05 NOMOR 17152 DAN 17153 SERTA  
JALUR PIPA 4" OW-B05 NOMOR 17171 DAN 17174**

**(STUDI KASUS PELATIHAN PIPE STRESS ANALYSIS DI PT.AP-GREID,**

**DI JAKARTA)**

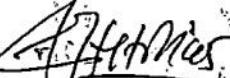
Disusun Oleh :

  
**Khozin Ahmad**  
20040130035

Telah Di Pertahankan Di Depan Tim Penguji  
Pada Tanggal 15 Maret 2013

Susunan Tim Penguji

Dosen Pembimbing I



**Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T.**

NIK.123054

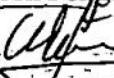
Dosen Pembimbing II



**Teddy Nurcahyadi, S.T.**

NIK.123053

Dosen Penguji



**Drs. Sudarisman, M.S.Mechs., Ph.D**

NIP.195905021987021001

Tugas Akhir Ini Telah Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar S-1 Sarjana Teknik Pada Tanggal 27 April 2013



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

*Terima kasih untuk:*

*Bapak (Sukri Idris) & Ibu (Siti Musyarofah) atas doa yang terus terucap dan semua yang telah diberikan padaku yang tak mungkin bisa terbalaskan.*

*Kakakku Mbak Uzi & Mas Oki serta Mas Ipang & Mbak Linda atas segala dukungan yang telah diberikan.*

*Kekasihku Ratna Pristiani Fah nurina yang telah memberikan warna dalam hidupku, selalu memberikan motivasi dan sabar menanti.*

*Seluruh keluarga besar Mapala UMY, banyak ilmu yang kudapatkan disini yang tidak kudapatkan di bangku perkuliahan, bagiku kalian adalah keluarga kedua.*

*Kawan-kawan Diksar XVIII Mapala UMY, karena kalian aku bisa kembali lagi setelah sekian lama menghilang dari posko.*

*Sahabatku Fahmi, Khabib, Louhan, Bekisar, Sumo yang sama-sama pernah berjuang di Posko.*

*Aak Mail, Bang Asril, Bang Yudi, Mas Baron, Bang David, Mas Hassan, Bang Pekli, Bang Sarno, Mas Ega, aku banyak belajar dari kalian, terima kasih kakak-kakakku.*

*Ichan yang telah membantu aku belajar Caesar  
Bahtiar, Baron, Redi, yang sama-sama berjuang dalam  
menyelesaikan Tugas Akhir.  
Kawan-kawan Teknik Mesin UMY yang tidak dapat  
kusebutkan satu per satu, terima kasih kawan.*

## **HALAMAN MOTTO**

*Dan sesungguhnya telah Kami mudahkan Al-Qur'an untuk pelajaran, maka adakah orang yang mengambil pelajaran?*

*(Q.S. Al-Qomar 40)*

TEGAR DALAM IMAN  
YAKIN DALAM MELANGKAH  
CAKAP DALAM TINDAKAN  
WAWASAN YANG MENANTANG  
(MAPALA UMY, 1983)

*Ibmu tanpa pengamalan itu bagaikan pohon tak berbuah*  
*(Mahfudzot)*

## KATA PENGANTAR



أَللَّهُمَّ إِنِّي أُخْرِجُ مِنْ حَلَّةِ الْمُتَوَسِّطِ

Puji Syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga dan sahabatnya.

Tugas akhir ini mengambil judul “Penentuan tegangan & defleksi menggunakan *Software Caesar II Versi 5.00* di suatu *Oily Water Treatment Project* pada jalur pipa 6”-OW-B05 nomor 17152 dan 17153 serta jalur pipa 4”-OW-B05 nomor 17171 dan 17174 (Studi kasus pelatihan pipe stress analysis di PT. Ap-Gried, Jakarta)” disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir, penyusun banyak menerima bantuan, bimbingan, pengarahan dan saran – saran dari beberapa pihak. Pada kesempatan kali ini penyusun ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan arahannya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Teddy Nurcahyadi, S.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan arahannya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. Sudarisman, M.S.Mechs., Ph.D selaku Dosen Pengaji Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah membagikan ilmu dan pengetahuannya.

6. Seluruh Staff TU Jurusan Teknik Mesin, TU Pengajaran, dan TU Fakultas Teknik, atas segala bantuan dan pelayanan yang baik untuk penulis, dari awal sampai akhir perkuliahan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini tentu masih mempunyai banyak kekurangan dan kesalahan baik isi, materi atau teknik penulisannya, dan penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

وَالشَّكْرُ عَلَيْهِ مُوْرَسَةٌ لِلَّهِ وَرَبِّكُمْ

Yogyakarta, 24 April 2013

Khozin Ahmad

## DAFTAR ISI

|  | Halaman      |
|--|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                   | <b>i</b>     |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>                              | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                             | <b>iii</b>   |
| <b>HALAMAN MOTTO .....</b>                                   | <b>v</b>     |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                  | <b>vi</b>    |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                      | <b>viii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                    | <b>xii</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                   | <b>xiii</b>  |
| <b>NOTASI .....</b>  | <b>xvii</b>  |
| <b>ABSTRAK .....</b>   | <b>xviii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                     |              |
| 1.1 Latar Belakang .....                                     | 1            |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                    | 2            |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                    | 2            |
| 1.4 Tujuan .....   | 3            |
| 1.5 Manfaat .....  | 3            |
| 1.6 Metode Penelitian .....                                  | 4            |
| <b>BAB II DASAR TEORI</b>                                    |              |
| 2.1 Teori tegangan-regangan umum .....                       | 5            |
| 2.2 Tegangan normal .....                                    | 7            |
| 2.2.1 Gaya tarik .....                                       | 7            |
| 2.2.2 Momen lentur .....                                     | 8            |
| 2.3. Tegangan geser .....                                    | 8            |
| 2.3.1 Gaya geser .....                                       | 9            |
| 2.3.2 Momen puntir .....                                     | 9            |
| 2.4 Kode standar pipa .....                                  | 10           |
| 2.5 Analisis tegangan pipa dalam tahap perancangan .....     | 11           |
| 2.6 Faktor-faktor yang menyebabkan tegangan dalam pipa ..... | 12           |
| 2.6.1 Beban panas ( <i>thermal</i> ) .....                   | 12           |

|  |    |
|--|----|
| 2.6.2 Beban berat .....  | 13 |
| 2.6.3 Tekanan internal .....   | 13 |
| 2.6.3.1 Tegangan longitudinal atau aksial .....                      | 14 |
| 2.6.3.2 Tegangan transversal .....                                   | 15 |
| 2.7 Elemen tegangan-regangan lingkaran Mohr .....                    | 15 |
| 2.8 Teori tegangan normal maksimum .....                             | 17 |
| 2.9 Teori tegangan geser maksimum ( <i>Tresca</i> ) .....            | 17 |
| 2.10 Teori energi distorsi maksimum ( <i>Von Mises</i> ) .....       | 18 |
| 2.11 Kelelahan metal ( <i>Fatigue</i> ) .....                        | 19 |
| 2.12 Tegangan primer dan tegangan sekunder .....                     | 20 |
| 2.13 Beban <i>occasional</i> ( <i>teknik kuasi statik</i> ) .....    | 22 |
| 2.14 Beban <i>random</i> .....                                       | 22 |
| 2.14.1 Beban angin .....   | 23 |
| 2.14.2 Beban gempa .....   | 24 |
| 2.15 Beban kejut .....   | 25 |
| 2.15.1 Beban <i>relief valve</i> .....                               | 25 |
| 2.15.2 Beban karena <i>water</i> atau <i>fluid hammer</i> .....      | 25 |
| 2.16 Tegangan dan defleksi karena beban bobot mati .....             | 26 |
| 2.17 Pembatasan tegangan perpipaan menurut kode ANSI B13.3 .....     | 28 |
| 2.17.1 Tegangan karena beban <i>sustained</i> (kontinyu) .....       | 28 |
| 2.17.2 Tegangan karena beban <i>occasional</i> (kadang-kadang) ..... | 29 |
| 2.17.3 <i>Stress range</i> akibat beban ekspansi .....               | 29 |
| 2.18 Pembatasan tegangan perpipaan menurut Caesar II .....           | 30 |
| 2.18.1 Beban <i>sustained</i> .....                                  | 30 |
| 2.18.2 Beban ekspansi .....  | 30 |
| 2.18.3 Beban <i>occasional</i> .....                                 | 31 |
| 2.18.4 Beban <i>operating</i> .....                                  | 31 |

### **BAB III SISTEM PERPIPAAN**

|  |    |
|--|----|
| 3.1. Komponen-komponen perpipaan ..... | 32 |
| 3.1.1 Pipa .....                       | 32 |
| 3.1.2 <i>Fitting</i> .....             | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.2.1 Macam-macam <i>fitting</i> dengan sambungan ujung <i>butt-welding</i> .....        | 35 |
| 3.1.2.2 <i>Fitting</i> dengan sambungan ujung jenis <i>socket-welded</i> meliputi .....    | 48 |
| 3.1.2.3 <i>Fitting</i> dengan sambungan ujung jenis <i>screwed/threaded</i> meliputi ..... | 50 |
| 3.1.3 Instrumentasi/simbol perpipaan .....   | 52 |
| 3.1.4 <i>Support</i> .....   | 59 |
| 3.1.4.1 Standar-standar <i>support</i> yang biasa digunakan .....                          | 59 |
| 3.1.4.2 Macam-macam penyangga pembebanan statik .....                                      | 59 |
| 3.2. <i>Rating</i> tekanan – temperatur .....  | 65 |
| 3.2.1 <i>Rating/kelas fitting</i> jenis <i>socket-welded</i> dan <i>threaded</i> .....     | 66 |
| 3.2.2. <i>Rating/kelas fitting</i> jenis sambungan ujung <i>bolted-flange</i> .....        | 67 |
| 3.2.3. <i>Rating/kelas fitting</i> jenis sambungan ujung <i>butt-welding</i> .....         | 67 |

#### **BAB IV SOFTWARE COADE CAESAR II VERSI 5.00**

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Pendahuluan .....                         | 70 |
| 4.2 Menu utama pada Caesar II versi 5.00..... | 71 |
| 4.2.1 <i>New file</i> .....                   | 71 |
| 4.2.2 <i>Make unit files</i> .....            | 72 |
| 4.3 <i>Input piping</i> .....                 | 73 |
| 4.4 Aplikasi khusus .....                     | 74 |
| 4.4.1 <i>Bend</i> .....                       | 74 |
| 4.4.2 <i>Valve</i> dan <i>Flange</i> .....    | 76 |
| 4.4.3 <i>Reducer</i> .....                    | 76 |
| 4.4.4 SIF atau Tee .....                      | 77 |
| 4.4.5 <i>Restraint</i> .....                  | 77 |
| 4.5 <i>Static analysis</i> .....              | 78 |
| 4.5.1 <i>Static and dynamic load</i> .....    | 78 |
| 4.5.2 <i>Load case</i> .....                  | 79 |
| 4.5.3 <i>Error checking</i> .....             | 80 |
| 4.5.4 <i>Static output processor</i> .....    | 81 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.5.5 <i>Static output reports</i> .....                                       | 82  |
| <b>BAB V METODOLOGI</b>  |     |
| 5.1 Diagram alir pemodelan dan pemeriksaan tegangan .....                      | 83  |
| 5.2 Persiapan pendesainan .....  | 84  |
| 5.2.1 Penggunaan <i>software</i> dan alat bantu lainnya .....                  | 85  |
| 5.2.2 <i>Standard and codes</i> yang digunakan .....                           | 85  |
| 5.2.3 Data-data pemodelan desain .....   | 85  |
| 5.2.4 Gambar isometrik .....   | 86  |
| 5.2.5 <i>Load case</i> .....   | 89  |
| <b>BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN</b>   |     |
| 6.1 Pembahasan dan perhitungan dalam Caesar II .....                           | 91  |
| 6.2 Persiapan pemodelan .....  | 91  |
| 6.2.1 Pengaturan unit pada <i>software</i> Caesar II versi 5.00 .....          | 92  |
| 6.2.2 Data-data sistem perpipaan .....   | 92  |
| 6.2.3 Hasil olah data .....  | 94  |
| 6.2.4 Penambahan data .....  | 99  |
| 6.3 Visualisasi pemodelan desain .....   | 101 |
| 6.4 Analisis .....   | 102 |
| 6.4.1 Penentuan tegangan .....   | 102 |
| 6.4.2 Penentuan defleksi .....   | 103 |
| 6.5 Perbandingan hasil analisis <i>software</i> Caesar II dengan AutoPipe .... | 104 |
| 6.5.1 Tegangan maksimal .....  | 105 |
| 6.5.2 Defleksi maksimal .....  | 107 |
| <b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN</b>  |     |
| 7.1. Kesimpulan .....  | 109 |
| 7.2. Saran .....   | 109 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....  | 111 |

## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Siklus termal pada pipa .....   | 30      |
| Tabel 3.1 <i>Material selection – common specification for Carbon Steel System</i> .....            | 34      |
| Tabel 3.2 <i>Suggested piping support spacing</i> .....   | 65      |
| Tabel 3.3 <i>Rating jenis sambungan ujung socket-welded</i> .....                                   | 66      |
| Tabel 3.4 <i>Material specification</i> .....   | 68      |
| Tabel 3.5 <i>Pressure-Temperature Rating</i> .....  | 69      |
| Tabel 6.1 Satuan yang dipakai dalam pemodelan <i>Oily Water Treatment Project</i> .....             | 92      |
| Tabel 6.2 Data-data sistem perpipaan .....  | 93      |
| Tabel 6.3 Hasil olah data pemodelan .....   | 94      |
| Tabel 6.4 Hasil analisis tegangan maksimal .....  | 102     |
| Tabel 6.5 Hasil analisis defleksi maksimal .....  | 103     |
| Tabel 6.6 Hasil analisis tegangan maksimal pada <i>software Caesar II</i> dan <i>AutoPipe</i> ..... | 105     |
| Tabel 6.7 Hasil analisis defleksi maksimal pada <i>software Caesar II</i> dan <i>AutoPipe</i> ..... | 107     |

## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Kurva tegangan – regangan untuk baja karbon .....            | 6       |
| Gambar 2.2 Spesimen uji tarik .....                                     | 7       |
| Gambar 2.3 Momen lentur .....   | 8       |
| Gambar 2.4 Gaya geser tunggal .....                                     | 9       |
| Gambar 2.5 Batang silindris dengan beban puntiran .....                 | 9       |
| Gambar 2.6 Sambungan pada pipa .....                                    | 14      |
| Gambar 2.7 Elemen mesin yang diberi gaya tarik .....                    | 16      |
| Gambar 2.8 Elemen tegangan – regangan pada kondisi tiga dimensi .....   | 16      |
| Gambar 2.9 Elemen tegangan - regangan pada kondisi dua dimensi .....    | 16      |
| Gambar 2.10 Lingkaran <i>Mohr</i> .....                                 | 17      |
| Gambar 2.11 Kurva maksimum <i>range</i> dari tegangan .....             | 20      |
| Gambar 2.12 Profil beban angin .....                                    | 23      |
| Gambar 2.13 Profil beban gempa .....                                    | 24      |
| Gambar 2.14 Profil beban <i>water</i> atau <i>fluid hammer</i> .....    | 26      |
| Gambar 2.15 Tumpuan terdistribusi merata .....                          | 26      |
| Gambar 2.16 Gaya terdistribusi pada tumpuan engsel dan rol .....        | 27      |
| Gambar 2.17 Gaya terdistribusi merata pada tumpuan jepit .....          | 27      |
| Gambar 3.1 Jenis-jenis <i>elbow</i> .....                               | 36      |
| Gambar 3.2 Jenis-jenis <i>bend</i> .....                                | 37      |
| Gambar 3.3 Jenis-jenis <i>reducer</i> .....                             | 37      |
| Gambar 3.4 Jenis-jenis <i>swage/swage nipple</i> .....                  | 38      |
| Gambar 3.5 <i>Mitter bend</i> .....                                     | 38      |
| Gambar 3.6 Jenis sambungan percabangan langsung ( <i>Stub-In</i> )..... | 39      |
| Gambar 3.7 Jenis-jenis <i>tee</i> .....                                 | 39      |
| Gambar 3.8 <i>Lateral</i> .....   | 40      |
| Gambar 3.9 <i>Cross</i> .....   | 40      |
| Gambar 3.10 Jenis <i>elbolet</i> dan <i>weldolet cap/closure</i> .....  | 41      |
| Gambar 3.11 <i>Flange</i> jenis WN ( <i>Welding Neck</i> ) .....        | 42      |
| Gambar 3.12 <i>Flange</i> jenis SO ( <i>Slip-On</i> ) .....             | 42      |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.13 <i>Flange lap joint</i> .....   | 43 |
| Gambar 3.14 <i>Gate valve</i> .....   | 43 |
| Gambar 3.15 Katup bola .....  | 44 |
| Gambar 3.16 Katup cek .....   | 44 |
| Gambar 3.17 <i>Valve bola</i> .....   | 44 |
| Gambar 3.18 <i>Valve kupu-kupu</i> .....  | 45 |
| Gambar 3.19 Kontrol valve .....   | 45 |
| Gambar 3.20 <i>Piston valve</i> .....   | 45 |
| Gambar 3.21 <i>Safety valve atau relief valve</i> .....                                       | 46 |
| Gambar 3.22 <i>SW full coupling</i> .....   | 48 |
| Gambar 3.23 <i>SW half coupling</i> .....   | 48 |
| Gambar 3.24 <i>Reducing insert</i> .....  | 49 |
| Gambar 3.25 <i>SW union</i> .....   | 49 |
| Gambar 3.26 <i>SW swage</i> .....   | 49 |
| Gambar 3.27 <i>Threaded half dan full coupling</i> .....                                      | 50 |
| Gambar 3.28 <i>Threaded reducing coupling</i> .....   | 50 |
| Gambar 3.29 <i>Nipple</i> .....   | 50 |
| Gambar 3.30 <i>Threaded union</i> .....   | 51 |
| Gambar 3.31 <i>Pipe to tube connector</i> .....   | 51 |
| Gambar 3.32 <i>Threaded elbow</i> .....   | 51 |
| Gambar 3.33 <i>Threaded flange</i> .....  | 52 |
| Gambar 3.34 <i>Threaded tee</i> .....   | 52 |
| Gambar 3.35 <i>Threaded lateral</i> .....   | 52 |
| Gambar 3.36 <i>Threaded cross</i> .....   | 52 |
| Gambar 3.37 Penggambaran sistem garis ganda dan garis tunggal .....                           | 54 |
| Gambar 3.38 Simbol perpipaan untuk sambungan <i>butt weld, socket weld, dan screwed</i> ..... | 54 |
| Gambar 3.39 Simbol garis perpipaan untuk gambar isometri, P&ID, dan jalur instrumen .....     | 55 |
| Gambar 3.40 Simbol fitting ( <i>sambungan butt welding</i> ) .....                            | 56 |
| Gambar 3.41 Simbol fitting ( <i>sambungan screwed</i> ) .....                                 | 57 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.42 | Simbol katup dan operatornya .....                           | 58 |
| Gambar 3.43 | Penyangga satu kolom .....                                   | 60 |
| Gambar 3.44 | Penyangga banyak kolom .....                                 | 60 |
| Gambar 3.45 | Penyangga satu tingkat dengan landasan engsel .....          | 60 |
| Gambar 3.46 | Penyangga dengan landasan tetap .....                        | 60 |
| Gambar 3.47 | Penyangga 2 tingkat dengan landasan engsel .....             | 61 |
| Gambar 3.48 | Penyangga 2 tingkat dengan landasan tetap .....              | 61 |
| Gambar 3.49 | Penyangga bertingkat banyak dengan landasan engsel .....     | 61 |
| Gambar 3.50 | Penyangga bertingkat banyak dengan landasan tetap .....      | 62 |
| Gambar 3.51 | Penyangga kaki bebek ( <i>duck foot</i> ) .....              | 62 |
| Gambar 3.52 | Penyangga bentuk siku-siku .....                             | 63 |
| Gambar 3.53 | Penyangga pembarangan pipa ( <i>pipe slider</i> ) .....      | 63 |
| Gambar 3.54 | Penyangga pipa rendah ( <i>low support</i> ) .....           | 64 |
| Gambar 3.55 | Penyangga gantung ( <i>hanger</i> ) .....                    | 64 |
| Gambar 4.1  | <i>New file</i> .....  | 72 |
| Gambar 4.2  | <i>Make new unit files</i> .....                             | 72 |
| Gambar 4.3  | <i>Unit files maintenance</i> .....                          | 73 |
| Gambar 4.4  | <i>Input</i> pemulai pemodelan desain .....                  | 73 |
| Gambar 4.5  | <i>Spreadsheet overview</i> .....                            | 74 |
| Gambar 4.6  | <i>Bend</i> jenis <i>elbow</i> .....                         | 75 |
| Gambar 4.7  | <i>Bend</i> pada <i>spreadsheet</i> .....                    | 75 |
| Gambar 4.8  | <i>Valve</i> dan <i>flange</i> pada <i>spreadsheet</i> ..... | 76 |
| Gambar 4.9  | <i>Reducer</i> pada <i>spreadsheet</i> .....                 | 76 |
| Gambar 4.10 | <i>SIF</i> atau <i>tee</i> pada <i>spreadsheet</i> .....     | 77 |
| Gambar 4.11 | <i>Restraint</i> pada <i>spreadsheet</i> .....               | 78 |
| Gambar 4.12 | <i>Load case</i> .....                                       | 79 |
| Gambar 4.13 | <i>Error checking</i> .....                                  | 80 |
| Gambar 4.14 | <i>Static output processor</i> .....                         | 81 |
| Gambar 4.15 | <i>Static output reports</i> .....                           | 82 |
| Gambar 5.1  | Diagram alir pengoperasian Caesar II versi 5.00 .....        | 83 |
| Gambar 5.2  | <i>Isometric drawing A</i> .....                             | 87 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Gambar 5.3 | <i>Isometric drawing B</i> .....                                   | 88  |
| Gambar 5.4 | <i>Load case</i> pada pemodelan.....                               | 90  |
| Gambar 5.5 | <i>Static output processor</i> pada pemodelan .....                | 90  |
| Gambar 6.1 | <i>Hoop legend</i> .....   | 91  |
| Gambar 6.2 | Profil benda tidak ada translasi .....                             | 99  |
| Gambar 6.3 | Profil benda terdapat translasi .....                              | 99  |
| Gambar 6.4 | Profil benda terdapat rotasi .....                                 | 100 |
| Gambar 6.5 | Visualisasi pemodelan desain <i>Oily Water Treatment Project</i> . | 101 |
| Gambar 6.6 | <i>Stress</i> pada <i>load case 4</i> .....                        | 103 |
| Gambar 6.7 | <i>Displacement</i> pada <i>load case 20</i> .....                 | 104 |

## NOTASI

| Simbol      | Keterangan                                 | Simbol                         | Keterangan                              |
|-------------|--|--------------------------------|---|
| r .....     | Jarak Serat Dari Sumbu Netral              | $S_b$ .....                    | Bending Stress                          |
| g .....     | Konstanta Gravitasi                        | $S_c$ .....                    | Allowable Stress Pada Suhu Dingin       |
| h .....     | Bend Characteristic                        | $S_h$ .....                    | Allowable Stress Pada Suhu Panas        |
| i .....     | SIF (Stress Intensification Factor)        | $S_t$ .....                    | Torsional Stress                        |
| k .....     | Flexibility Factor                         | $S_A$ .....                    | Allowable Stress Range                  |
| l .....     | Panjang                                    | $S_B$ .....                    | Resultant Bending Stress                |
| m .....     | Massa                                      | $S_E$ .....                    | Computed Maximum Stress Range           |
| r .....     | Jari-jari                                  | $S_u$ .....                    | Ultimate Tensile Strength               |
| $r_i$ ..... | Jari-jari Dalam                            | T .....                        | Temperatur                              |
| $r_o$ ..... | Jari-jari Luar                             | U .....                        | Energi, Kecepatan                       |
| $r_m$ ..... | Mean Radius                                | V .....                        | Volume                                  |
| t .....     | Tebal                                      | Y .....                        | Resultant Expansion, Yield Stress       |
| w .....     | Lebar, Berat Beban                         | Z .....                        | Section Modulus                         |
| x,y,z ..... | Axis Koordinat                             | $\Delta T$ .....               | Perubahan Suhu                          |
| A .....     | Luas Permukaan                             | $\Delta L$ .....               | Perubahan Panjang                       |
| B .....     | Konstanta Material                         | $\alpha$ .....                 | Koefisien Muai, Sudut                   |
| C .....     | Konstan, Cold Spring Factor                | $\delta$ .....                 | Defleksi                                |
| $D_i$ ..... | Diameter Dalam                             | $\epsilon$ .....               | Regangan Normal                         |
| $D_o$ ..... | Diameter Luar                              | $\theta$ .....                 | Sudut                                   |
| E .....     | Modulus Elastisitas Young                  | $\nu$ .....                    | Poisson's Ratio                         |
| $E_c$ ..... | Modulus Elastisitas Young Pada Suhu Dingin | $\rho$ .....                   | Densitas                                |
| $E_b$ ..... | Modulus Elastisitas Young Pada Suhu Panas  | $\sigma$ .....                 | Tegangan Normal                         |
| F .....     | Gaya                                       | $\sigma_t$ .....               | Tegangan Normal Akibat Gaya Tarik/Tekan |
| G .....     | Shear Modulus                              | $\sigma_L$ .....               | Tegangan Normal Akibat Momen Lentur     |
| I .....     | Inersia Penampang                          | $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ | Tegangan Utama                          |
| $I_p$ ..... | Inersia Polar                              | $\tau$ .....                   | Tegangan Geser                          |
| L .....     | Panjang                                    | $\tau_s$ .....                 | Tegangan Geser Akibat Gaya Geser        |
| M .....     | Momen                                      | $\tau_p$ .....                 | Tegangan Geser Akibat Momen Torsi       |
| $M_b$ ..... | Bending Momen                              |                                |   |
| $M_t$ ..... | Torsional Momen                            |                                |   |
| N .....     | Number of Cycle                            |                                |   |
| R .....     | Jari-jari, Rasio                           |                                |   |
| S .....     | Tegangan, Tegangan Lelah                   |                                |   |