

14.461/H/02



**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**ANALISA ULANG P.L.E.M.
PADA KONDISI STATIS DI LOKASI
PERTAMINA UP-IV CILACAP**



RSKE
668.544
ulu
21-1
2000

Disusun Oleh :

AZHAR ULUM

NRP. 4395.100.016

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**

| PERPUSTAKAAN ITS | |
|---------------------|------------|
| Tgl. Terima | 19/09/2000 |
| Terima Oleh | H |
| No. Agenda Png. | 21.2024 |

**ANALISA ULANG P.L.E.M. PADA KONDISI STATIS
DI LOKASI PERTAMINA UP-IV CILACAP**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kelautan**

Pada

**Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

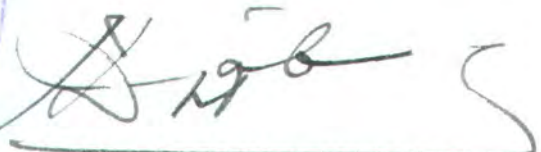
Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
NIP. 131 782 032



Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.
NIP. 131 407 592

**SURABAYA
2000**



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp.5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

TUGAS AKHIR (OE.1701)

No. 046/K03.4.4/PP/2000

MATA KULIAH : TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH : OE.1701
NAMA MAHASISWA : Azhar Ulum
NOMOR POKOK : 4395100016
TGL.DIBERIKAN TUGAS : 26 Januari 2000
TGL.SELESAINYA TUGAS : 26 Juni 2000
DOSEN PEMBIMBING :
1. Dr.Ir. Daniel M Rosyid
2. Dr.Ir. Eko Budi Djatmiko,MSc.

TEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN/JUDUL TUGAS AKHIR :

ANALISA ULANG PLEM PADA KONDISI STATIS DI LOKASI PERTAMINA UP-IV
ILACAP

Surabaya, 26 Januari 2000

Ketua Jurusan ;



Dr. Ir. P. Indiyono, MSc

NIP. 431 453 680

BUAT RANGKAP 4 :

Mahasiswa ybs.
Dekan FTK-ITS
Dosen Pembimbing I
Dosen Pembimbing II
Arsip Jurusan



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fak. 5928105, 5994251 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Azhar Ulum
NOMOR POKOK : 4395.100.016
DOSEN PEMBIMBING I : Dr. Ir. Daniel M. Rosyid
TUGAS DIMULAI :
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Ulang PLEM Pada Kondisi Statis di Lokasi PERTAMINA UP-IV Cilacap

| NO | TANGGAL | KONSULTASI MENGENAI | TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING |
|----|-----------|---|-------------------------------|
| 1 | 22/3/2000 | Bab I. Masalah bens kelas, luas, bahan, input, | |
| 2 | | Data sistem yg ditanya | |
| 3 | 18/4/2000 | - Structural Model - Geometrical Model | |
| 4 | 2/6/2000 | - Geometris Model NASIRAK > FEM | |
| 5 | | Perubahan Koneksi | |
| 6 | 7/7/2000 | Abstrak dan deskripsi | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Azhar Ulum
NOMOR POKOK : 4395 100 016
DOSEN PEMBIMBING II : Dr. Ir.Eko Budi Djatmiko, M.Sc
TUGAS DIMULAI : 26 Januari 2000
TUGAS DISELESAIKAN : 10 Juli 2000
JUDUL TUGAS AKHIR :

Analisa Ulang P.L.E.M Pada Kondisi Statis Di Lokasi

PERTAMINA UP-IV CILACAP

| No | Tanggal | Konsultasi Mengenai | Tanda Tangan Dosen Pembimbing |
|----|----------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 20/01'00 | Pelajaran filosofi pemodelan | |
| 2 | 15/02'00 | Cari referensi yg relevan. | |
| 3 | | | |
| 4 | 28/04'00 | Cek pemodelan; titik lagi manual | |
| 5 | | NAPRA | |
| 6 | 06/05'00 | Analisis hasil run? | |
| 7 | | | |
| 8 | 14/05'00 | Pelajaran bila sedang beroperasi | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Catatan: Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fak. 5928105, 5994251 Psw. 1104 - 1105

LEMBAR PRESENSI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Azhar Ulum
NOMOR POKOK : 4395.100.016
DOSEN PEMBIMBING II : Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc
TUGAS DIMULAI :
TUGAS SELESAI :
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Ulang PLEM Pada Kondisi Statis di Lokasi PERTAMIMA UP-IV Cilacap

| NO | TANGGAL | KONSULTASI MENGENAI | TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING |
|----|----------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 02/05'00 | Aspek umum analisis | [Signature] |
| 2 | 26/06'00 | lanjutan analisis di NOSTRA | [Signature] |
| 3 | 10/07'00 | Tambahan kerja | [Signature] |
| 4 | | perbaikan dan pembelajaran | [Signature] |
| 5 | | | |
| 6 | 11/07 | Siapa saja untuk ujian | [Signature] |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Catatan : Lembar Presensi Konsultasi ini harus ditunjukkan pada saat ujian tugas akhir

Persembahan Terbaikku Untuk...

Ayah dan Ibu Tercinta
Adik-Adikku Tersayang... Kamal, Azam dan Ayu
Almh. Mbah Ramelah



"...Dia menyelimutkan malam kepada siang, sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda kekuasaan Allah bagi kaum yang berpikir, ..."

(Ar-Ra'du:3)

ABSTRAK

Struktur yang ditinjau pada analisa statis ini adalah pipeline end manifold (PLEM), di lokasi PERTAMINA UP-IV Cilacap. PLEM ini mempunyai fungsi yang sangat penting dalam proses bongkar muat minyak mentah ke fasilitas produksi di darat. Apabila struktur yang terpasang pada kedalaman laut 37 m dengan panjang 8,222 m dan OD 1,168 m tersebut mengalami kerusakan, maka dapat dipastikan proses 'loading' melalui single-point mooring tidak dapat dilakukan. Kerusakan terjadi pada daerah sambungan inlet pipe dengan pipa utama dan pada ball valve di ujung PLEM. Karena kerusakan pada struktur PLEM tersebut, maka PERTAMINA bermaksud untuk membuat PLEM pengganti. Dengan beban internal dan eksternal pressure serta beban tarikan pada arah vertikal dari flexible riser maka akan dapat diketahui respon struktur dengan software MSC-NASTRAN. Dari hasil MSC-NASTRAN dapat diketahui bahwa distribusi tegangan terbesar terjadi di daerah sambungan antara inlet pipe dan pipa utama. Sedangkan besar tegangan geser yang terjadi adalah $3,476.10^6 \text{ N/m}^2$ namun masih dalam batas aman karena nilainya masih di bawah limit tegangan dari material properties High Strength Steel.

Melalui analisa ulang dengan software MSC-NASTRAN, dan dengan bentuk pemodelan untuk fungsi tekanan dalam dan luar dapat diketahui bahwa pemasangan ball valve di ujung PLEM masih diperlukan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT yang Maha Agung atas segala rahmat dan ciptaan-Nya dimuka bumi

Kilang Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap merupakan salah satu kilang terbesar yang dimiliki Pertamina. Salah satu fasilitas bongkar muat yang dimiliki -selain dermaga untuk tanker di bawah 80.000 DWT-, Pertamina juga memiliki *single-point mooring* di lepas pantai Cilacap. Walaupun masih dalam radius yang cukup dekat dengan daerah pantai-sekitar 16 km dari garis pantai, namun karakteristik gelombang yang dimiliki tak beda dengan gelombang lepas pantai. Kerusakan sering pula terjadi di daerah ini, tidak hanya kerusakan SPM, bahkan PLEM yang terdapat di dasar laut-pun sempat terhantam flexible riser. Kejadian-kejadian tersebut menimbulkan kerugian yang tidak kecil pada Pertamina. Atas dasar berbagai pertimbangan teknis dan ekonomis, Pertamina mencoba membuat struktur PLEM baru untuk menggantikan PLEM lama yang sekarang masih terpasang.

Melalui analisa dengan fasilitas software MSC-NASTRAN ini, penulis mencoba untuk mengetahui daerah-daerah kritis pada PLEM dengan kondisi beban yang mengenainya. Dan hasil dari analisa ulang ini dapat dilihat lebih lanjut pada laporan tugas akhir ini. Semoga analisa ini berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada analisa ini. Untuk itu kritik membangun sangat penulis harapkan. Tak lupa penullis mengucapkan terima kasih kepada pihak Pertamina UP-IV dan Tanjung Priok yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk dapat mengaplikasikan kemampuan yang penulis dapat selama kuliah.

Ucapan Terima Kasih...

Ketika pertama kali masalah ini diangkat, banyak hal yang tidak pernah terbayangkan dapat terjadi. Ada banyak pelajaran berharga yang ditemui dan ada banyak kendala yang coba untuk diatasi. Penulis merasa bahwa analisa ini tidak hanya sekedar sebagai proses belajar, tapi lebih dari itu, penulis mencoba untuk lebih mengembangkan diri dalam mengeksplorasi kemampuan.

Dalam kesempatan ini penulis banyak dibantu oleh orang-orang yang mengerti jelas akan hal-hal yang menjadi permasalahan ketika penulis mencoba untuk berdiskusi tentang berbagai kesulitan dan kesalahan.

Dalam kesempatan yang baik ini, penulis ingin menghaturkan ucapan terima kasih kepada orang-orang yang selama ini banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Kelautan-ITS.

- Kepada Bapak Dr. Ir. Paul Indiyono, M.Sc sebagai dosen wali yang membimbing penulis selama menyelesaikan studi.
- Bapak Dr. Ir. Daniel M.Rosyid selaku dosen pembimbing I.
- Bapak Dr. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc selaku dosen pembimbing II.
- Bapak Suroso HB dan Bapak Donald Riyadi yang telah memberikan segala bantuan, informasi dan kemudahan selama di Jakarta dan Cilacap.
- Bapak Ir. Adang, Bapak Ir. FX. Gunawan atas semua informasi dan bantuannya selama di PERTAMINA UP-IV Cilacap.
- Keluarga Pekalongan yang telah banyak memberikan dorongan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studi.
- Keluarga Wonokromo (Wak Muchsin, Wak Sanah, Anton, Lia, Laili, Faiz), keluarga Pak Dhe dan Bu Dhe Sarwi di Cilacap.
- Untuk sahabat terbaikku, Ferdiana Natalia, terima kasih atas dorongan, motivasi, dan segalanya, semoga persahabatan ini abadi dan juga Agung atas dukungannya selama ini.

- Seluruh Arek *Songo Limo* atas semua pelajaran kusroh, rusak dan poko'e... ajur je', Poros T-78 (Cahyo, Wawan, Arif, Anang, Rendra, Gendon), Kamerad (Andhika, Opiek, Q-Wir, Iyo', Papi, Ewok), Rojak, Bang Ochim, Dho-dot, Yandri, Eko Pitik, CQ, *The-Saint Man*-Unis, Susi, Joe, Tommy, Ucok, Penghuni 'Opres-Kangen' Laboratories (Dharyono, Blo'on, Bang Umar, Kunam, Hanief, Bagus Jancuk), Arab, Pak Dhe, Sayang, Mbak Hesti.
- Semua Arek '94, semua Arek '96 (Inos, Uton, Rizal, Hafid, Adik I'is, Ristia, Amy) yang udah banyak memberi 'cerita' selama masa kuliah.
- 'Adik-adik'-ku yang telah memberikan banyak hal pada Mas, Adik Emy, Dian, Dhani, Ovie.
- Arek GL 57 atas semua ceritanya, bal-balannya, nonton bolanya, nonton ketoprak humor, dan semuanya.
- Dan semua pihak yang tak mampu penulis sebutkan satu persatu, terima kasih.

Surabaya, Juli 2000

Azhar Ulum

∞.∞

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|-------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL | vii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | I-1 |
| 1.2. Permasalahan | I-6 |
| 1.3. Tujuan | I-6 |
| 1.4. Manfaat | I-6 |
| 1.5. Batasan Masalah | I-7 |
| 1.6. Metodologi Penulisan | I-8 |
| BAB II DASAR TEORI | |
| 2.1. Tegangan-Regangan | II-1 |
| a. Tegangan | II-1 |
| b. Regangan | II-2 |
| c. Diagram Tegangan-Regangan | II-3 |
| 2.2. Tegangan Pada Pipa | |
| a. Ketebalan Pipa | II-5 |
| b. Tegangan Akibat Beban Operasional | II-6 |
| 1. Tegangan Tangensial (Hoop Stress) | II-7 |
| 2. Tegangan Tangensial | II-8 |
| c. Tegangan Akibat Beban Hidrotest | II-12 |
| d. Tegangan Kombinasi | II-12 |
| e. Analisa Kollapse | II-13 |

| | | |
|------------|--------------------------------|---|
| | f. Tegangan Pada Pelat | II-16 |
| | g. Free-Body Diagram | II-17 |
| BAB | III | METODOLOGI |
| | 3.1. Metodologi Penelitian | III-1 |
| | 1. Tahap Identifikasi Masalah | III-1 |
| | 2. Data | III-2 |
| | 3. Perhitungan Beban | III-3 |
| | 4. Pemodelan Struktur | III-3 |
| | 5. Analisa | III-5 |
| | 6. Kesimpulan | III-5 |
| | 3.2. Sistematika Penulisan | III-5 |
| BAB | IV | DATA DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR |
| | 4.1. Data Desain | IV-1 |
| | 4.1.1. Data PLEM | IV-1 |
| | 4.1.2. Data Operasional | IV-5 |
| | 4.2. Pemodelan Struktur | IV-6 |
| BAB | V | ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN |
| | 5.1. Respon Struktur | V-1 |
| | 1. Model A-1 | V-2 |
| | 2. Model B-1 | V-3 |
| | 5.2. Perhitungan Tegangan Pipa | V-5 |
| | 5.3. Analisa Hasil | V-9 |
| | 1. Analisa Model A-1 | V-10 |
| | 2. Analisa Model B-1 | V-13 |
| BAB | VI | KESIMPULAN DAN SARAN |
| | 6.1. Kesimpulan | VI-1 |
| | 6.2. Saran | VI-2 |
| | DAFTAR PUSTAKA | viii |
| | LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|-------|
| Gambar 1.1. Konfigurasi Sistem single-point mooring | I-2 |
| Gambar 1.2. Pipeline End Manifold (PLEM) | I-3 |
| Gambar 1.3. Ball Valve | I-5 |
| Gambar 2.1. Tegangan Normal dan Geser | II-3 |
| Gambar 2.2. Hubungan Tegangan-Regangan | II-4 |
| Gambar 2.3. Penampang Pipa yang Dikenai Tekanan | II-7 |
| Gambar 2.4. Potongan Permukaan yang Dijepit | II-13 |
| Gambar 2.5. Tegangan yang Bekerja Pada Suatu Bidang | II-16 |
| Gambar 2.6. Free Body Diagram | II-17 |
| Gambar 2.7. Diagram Pembebanan | II-19 |
| Gambar 2.8. Diagram Moment | II-19 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir | III-8 |
| Gambar 4.1. Penentuan Geometri | IV-7 |
| Gambar 4.2. Penentuan Lebar | IV-7 |
| Gambar 4.3. Penentuan Radius | IV-8 |
| Gambar 4.4. Penentuan Jenis Material | IV-8 |
| Gambar 4.5. Propertis Material | IV-9 |
| Gambar 4.6. Penentuan Elemen Pelat | IV-9 |
| Gambar 4.7. Setting Mesh | IV-10 |
| Gambar 4.8. Penentuan Permukaan Meshing | IV-10 |
| Gambar 4.9. Penentuan Jumlah Mesh | IV-11 |
| Gambar 4.10. Pemilihan Jenis Mesh | IV-11 |
| Gambar 4.11. Setting Constraint | IV-12 |
| Gambar 4.12. Penentuan Node | IV-12 |
| Gambar 4.13. Jenis Constraint | IV-12 |
| Gambar 4.14. Model A-1 | IV-13 |
| Gambar 4.15. Model B-1 | IV-14 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|------|
| Tabel 4.1. Karakteristik Gelombang Survival | IV-3 |
| Tabel 4.2. Karakteristik Gelombang Operasional | IV-3 |
| Tabel 4.3. Data Produk | IV-5 |
| Tabel 5.1. Output Model A-1 | V-2 |
| Tabel 5.2. Output Model B-1 | V-4 |

BAB I



Pendahuluan

BAB I

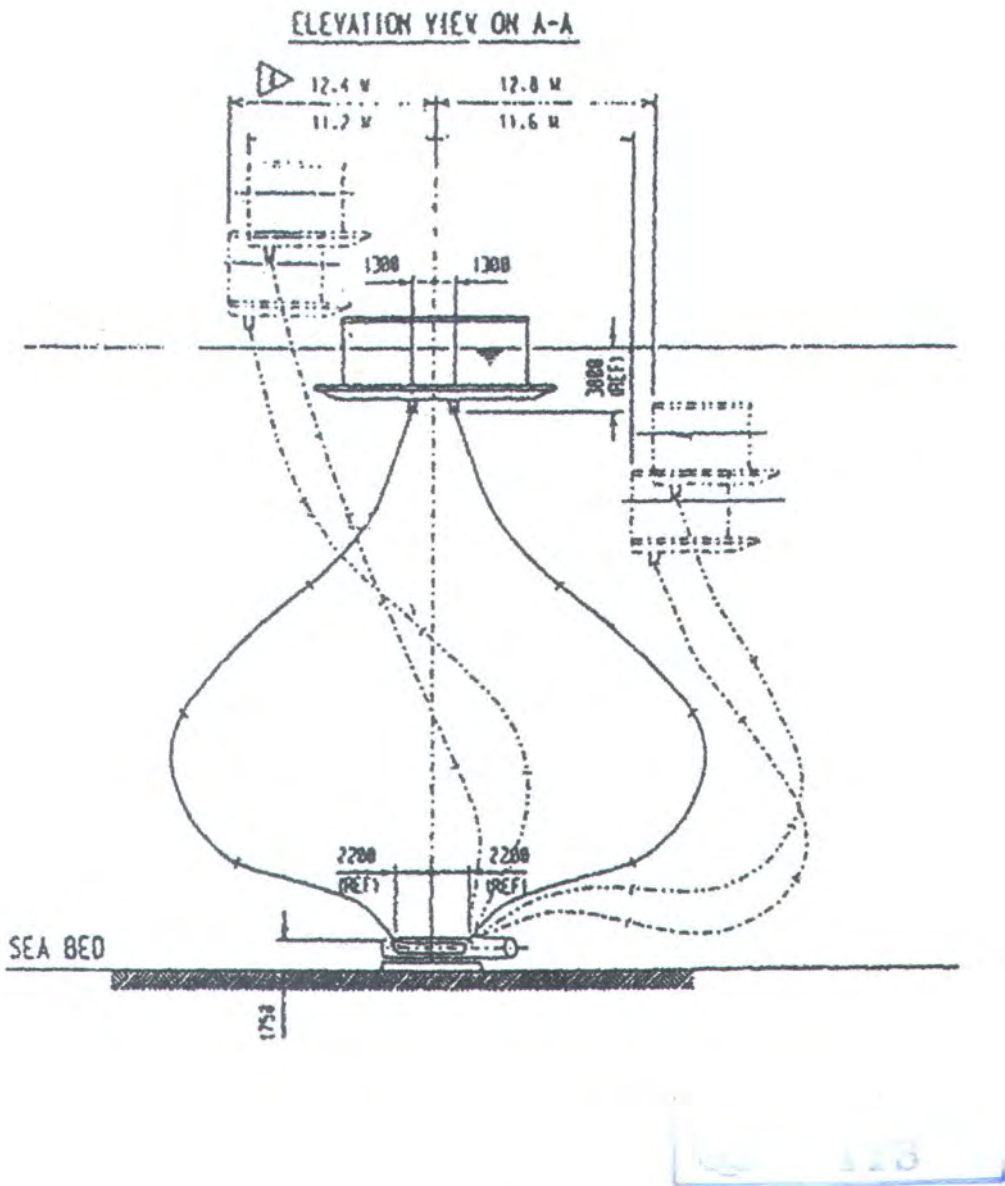
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kilang minyak Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap merupakan salah satu kilang terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi mencapai 300.000 barel per hari (Pertamina, 1996). Produksi utama yang dihasilkan selain bahan bakar minyak, juga menghasilkan bahan baku minyak pelumas dan *paraxylene* yang merupakan bahan baku pabrik PTA (*Purified Terephthalic Acid*) Plaju. Kilang minyak ini juga berfungsi sebagai penyangga kebutuhan BBM dan non-BBM di pulau Jawa.

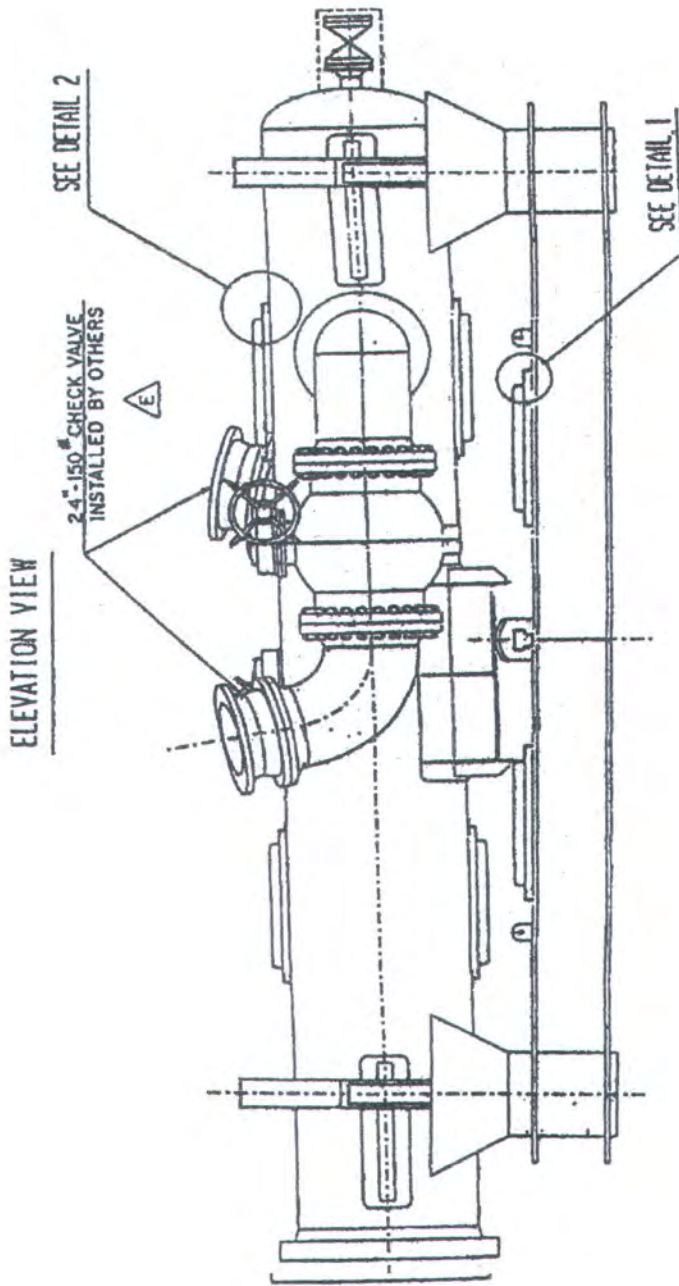
Transportasi yang memungkinkan untuk membawa minyak mentah tersebut dari ladang minyak ke fasilitas pengolahan di kilang Cilacap dipergunakan kapal tanker untuk kemudian dipindahkan melalui pipa bawah laut menuju lokasi terminal minyak mentah di Area 70. Selanjutnya minyak mentah tersebut akan diolah di lokasi Area 30 dan 40.

Sistem yang mempunyai peran penting dalam proses pemindahan minyak mentah tersebut adalah struktur *single-point mooring (SPM)* (Gambar 1.1), *Pipeline End Manifold (PLEM)* (Gambar 1.2) dan *seabed pipeline* yang berjarak sekitar 16,5 km dilepas pantai Cilacap atau tepatnya terletak pada koordinat 07.49° - 16.18° LS dan 109.06° - 20.36° BT.



Gambar 1.1. Konfigurasi sistem single-point mooring (SPM)

(PERTAMINA UP-IV CILACAP)



Gambar 1.2. Pipeline End Manifold (PLEM)

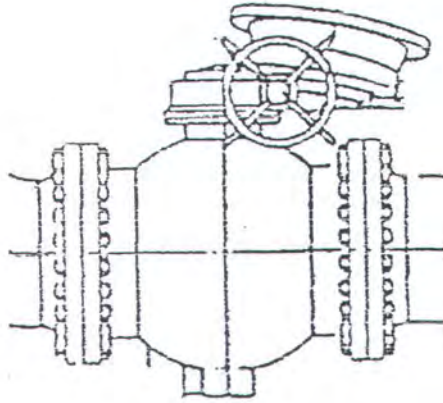
Sumber : PERTAMINA UP-IV CILACAP (1999)

Namun kondisi perairan di lepas pantai Cilacap, dimana struktur SPM terpasang seringkali tidak menentu dan mempunyai beban lingkungan yang besar. Kondisi lingkungan tersebut sering menyebabkan kerusakan pada struktur SPM maupun *pipeline*. Bahkan kondisi terakhir yang diketahui adalah terjadinya *scouring* pada daerah sambungan antara *pipeline* dan *Pipeline End Manifold (PEM)* (Gambar 1.2).

PEM dengan panjang 8222 mm , berdiameter 1168 mm dan tebal 19 mm serta berbahan dasar *carbon steel* ini berfungsi sebagai sarana transisi perpindahan minyak mentah setelah dari SPM disalurkan melalui dua buah *flexible riser* dengan diameter 12" bertipe *Chinese Lantern* -seperti yang terlihat pada gambar 1- untuk kemudian ditransportasikan dengan pipa bawah laut menuju fasilitas produksi di darat. Minyak mentah masuk ke dalam PEM yang terpasang *fixed* dengan pondasi di dasar laut melalui dua buah *valve* bertipe *ball valve* dengan ukuran 34"ANSI (Gambar 1.3) yang dioperasikan secara manual.

Tekanan di dalam PEM pada kondisi operasional dapat mencapai 280 psi (sesuai dengan desain) dengan rata-rata aliran mencapai 10.000 m³/jam. Pada ujung pipa terdapat *ball valve* berukuran 4"-300 ANSI yang dimaksudkan untuk menurunkan tekanan apabila pada PEM terjadi peningkatan tekanan secara tiba-tiba.

Salah satu kerusakan yang terjadi pada sistem transportasi minyak mentah ini adalah kerusakan pada bagian PEM. Kerusakan tersebut adalah rusaknya *ball valve* di ujung PEM akibat *flexible riser* yang membentur struktur



Gambar 1.3. Ball Valve

dudukan PLEM. Sebelumnya juga terjadi kerusakan pada sambungan antara pipa utama dengan *flenge pipe* berupa keretakan akibat terjadinya getaran pada saat bongkar muat dilaksanakan. Getaran ini terjadi secara terus menerus selama operasi ditambah beban akibat gerakan tarikan dari *flexible riser* akibat beban gelombang.

Kerusakan ini tentunya membawa kerugian yang tidak kecil pada pihak Pertamina, selain struktur tersebut tidak dapat difungsikan secara maksimal, juga mengakibatkan terganggunya pasokan minyak mentah untuk diolah di fasilitas produksi di darat. Untuk itu Pertamina berkeinginan untuk melakukan analisa ulang terhadap kekuatan dari struktur PLEM yang saat ini sedang terpasang untuk digunakan sebagai pertimbangan pada pembuatan dan penggantian struktur PLEM yang baru.

1.2. Permasalahan

Dari kondisi kerusakan yang terjadi pada PLEM, seperti gambar 1.2, akan coba ditinjau permasalahan tentang :

- Bagaimanakah tegangan dan respon struktur PLEM dengan beban-beban operasional, termasuk beban eksternal dan internal, apabila analisa tersebut dilakukan dengan MSc-NASTRAN.
- Meninjau kembali fungsi *ball valve* -seperti pada gambar 1.3-, apabila pada struktur PLEM tidak dipasang *valve*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari analisa ulang pada PLEM ini adalah :

- Untuk mendapatkan tegangan dan respon struktur PLEM dengan beban-beban internal dan eksternal yang bekerja.
- Perlu tidaknya dipasang *ball valve* di ujung PLEM serta untuk mengeliminasi pengaruh eksternal dan internal yang mungkin dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur.

1.4. Manfaat

Setelah dilakukan analisa ulang diharapkan dapat memberikan masukan kepada pihak Pertamina dalam pembuatan struktur PLEM yang baru. Sehingga nantinya dapat diperoleh struktur yang benar-benar mampu dioperasikan dengan baik pada kondisi lingkungan dimana struktur tersebut terpasang.

1.5. Batasan Masalah

Untuk menjaga agar pembahasan yang dilakukan tidak melebar, maka dibuatlah beberapa batasan. Batasan ini berupa asumsi-asumsi dan kondisi-kondisi tertentu sehingga memudahkan dan lebih terfokusnya analisa yang dilakukan. Batasan-batasan yang diberikan adalah sebagai berikut :

- Struktur yang ditinjau adalah PLEM seperti yang terlihat pada gambar 2 dengan dimensi; panjang 8222 mm, diameter 1168 mm, dan tebal 19 mm, dengan lokasi di Pertamina UP-IV Cilacap.
- Data operasional yang mengakibatkan pembebanan merupakan data terukur.
- Data lingkungan adalah sesuai dengan lokasi struktur PLEM terpasang, dengan kedalaman perairan 37 m, tinggi gelombang 6 m, dan periode gelombang 13 detik.
- Analisa ulang dilakukan dengan pemodelan dan analisa program *Msc NASTRAN*.
- Analisa dilakukan pada kondisi statis dimana beban tidak berubah terhadap waktu.
- Tumpuan struktur adalah tumpuan jepit (*fixed*).
- Aliran fluida yang berpindah diasumsikan tidak mengalami gangguan.
- Tidak memperhitungkan faktor temperatur dan gaya gesek antar fluida dan material.
-
-

- PLEM ditinjau sebagai struktur pipa bawah laut dengan salah satu ujungnya tertutup, sehingga pendekatan digunakan teori tentang pipa bawah laut.
- Pada model B, karena dianggap sebagai bentuk yang simetris maka struktur dimodelkan sebagai setengah silinder dengan potongan horisontal.
- Perbandingan respon struktur yaitu dengan limit tegangan dari material.
- Tidak memperhitungkan kondisi *material properties* dari struktur tanah, sehingga gaya gesek terhadap tanah tidak diperhitungkan.
- Analisa dilakukan dengan mengabaikan faktor ekonomis untuk pemilihan solusi pemecahan.

1.6. Metodologi Penulisan

Pada analisa ini akan dilakukan tahap-tahap seperti di bawah ini, dan secara *visual* dijelaskan melalui diagram alir.

- Pada tahap pertama akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui beban dari luar dan beban dari dalam. Perhitungan ini menyangkut beban gelombang sebagai fungsi tekanan serta beban internal tekanan dari fluida di dalam PLEM.
- Pembuatan model dengan memodelkan PLEM sebagai bentuk silinder dengan ketebalan, t .
- Pemodelan dibuat menjadi 2 macam, yaitu model A dan model B.
-

- Model A berbentuk silinder dengan diameter 1168 mm dan panjang 8222 mm untuk analisa beban akibat tekanan internal dan eksternal.
- Model B berbentuk silinder setengan lingkaran, karena PLEM diasumsikan sebagai struktur yang simetris untuk analisa akibat beban tarikan dari flexible riser dan beban tekanan internal dan eksternal.
- Pembagian bentuk *mesh*, berupa simpul-simpul pada seluruh permukaan PLEM dengan fasilitas MSC-NASTRAN.
- Mengaplikasikan beban-beban yang telah dihitung ke model struktur PLEM, baik berupa beban tunggal atau kombinasi.
- Menghitung respon struktur berupa tegangan norma, tegangan geser, deformasi, defleksi, momen bending dan tegangan vonmises yang terjadi pada tiap node dan elemen.
- Membandingkan tegangan yang terjadi pada struktur dengan perhitungan berdasarkan teori. Apakah tegangan yang terjadi memenuhi syarat dan tidak melebihi batas tegangan.

BAB II



Dasar Teori

BAB II

DASAR TEORI

Gaya adalah satu hal yang penting dalam konsep dasar mekanika teknik atau deformasi suatu bidang. Dan gaya merupakan aksi yang diberikan oleh suatu bidang terhadap gaya luar. Gaya mungkin muncul akibat kontak langsung atau tidak antara dua permukaan.. Pertemuan gaya tersebut dikatakan sebagai gaya permukaan, apabila gaya yang bekerja berada pada suatu bidang permukaan. Jika daerah pertemuan tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran dari keseluruhan struktur, maka dapat dikatakan bahwa terjadi konsentrasi tegangan pada daerah tersebut. Pada beberapa hal, dapat diperhatikan lebih jauh bahwa gaya bisa menjadi terkonsentrasi atau terdistribusi secara merata. Apabila gaya tersebut diasumsikan tidak berubah terhadap waktu, maka gaya atau beban tersebut dapat dikatakan sebagai beban statis. Akan tetapi, beban dapat dikatakan sebagai gaya dinamis apabila merupakan fungsi dari waktu.

2.1. Tegangan-Regangan

a. Tegangan

Gaya yang bekerja pada luas kecil tak berhingga sebuah potongan akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik, untuk selanjutnya dilambangkan dengan ' σ '. Secara matematis diungkapkan dalam (Popov,1994),



$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dimana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan. Tegangan yang menghasilkan tarikan (*tension*) pada permukaan sebuah potongan bisa disebut tegangan tarik (*tensile stress*). Tegangan normal yang mendorong potongan disebut tegangan tekan (*compressive stress*).

Komponen yang lain dari intensitas gaya yang bekerja pada bidang yang sejajar dengan gaya terpakai, adalah tegangan geser (*shear stress*) yang diekspresikan dengan persamaan (Popov,1994),

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

dimana, τ didefinisikan sebagai tegangan geser, P adalah gaya total yang bekerja sejajar dan sepanjang dengan potongan tersebut dan A adalah luas penampang potongan. Tegangan yang dikehendaki adalah tegangan maksimum, karena merupakan gangguan paling besar pada kekuatan suatu bahan. Tegangan yang paling besar terdapat pada potongan yang luas penampangnya minimum serta gaya aksialnya terbesar.

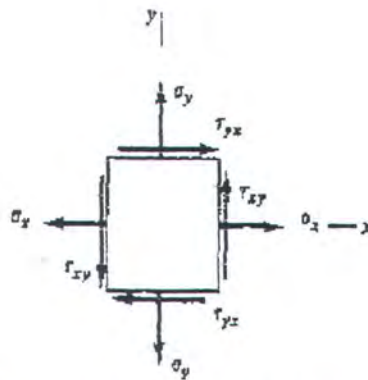
b. Regangan

Pada pengujian tarik, tidak hanya pada kekuatan ultimate, tetapi juga pembahasan tentang deformasi sebagai fungsi dari gaya terpakai. Perhatian utama yang diberikan adalah akibat beban terpakai terjadi perubahan panjang per satuan alat ukur tersebut (dalam meter atau satuan lainnya). Pertambahan

panjang ini disebut sebagai regangan (strain) yang dirumuskan dengan (Popov,1994),

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (2.3)$$

diimana regangan merupakan besaran yang tidak berdimensi. Bila regangan tersebut diketahui, maka deformasi total dari perubahan aksial adalah εL .

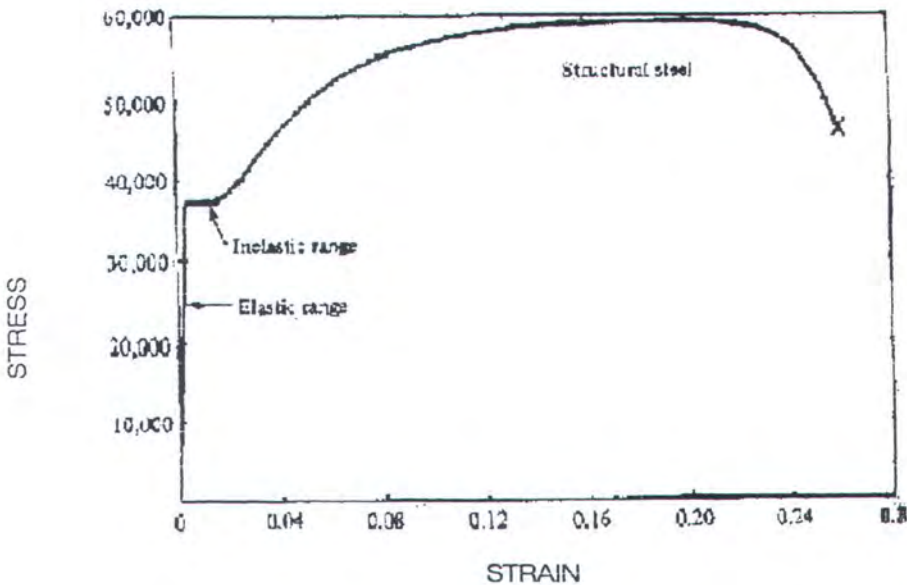


Gambar 2.1. Tegangan normal dan geser (Stevens,1987)

Hubungan tersebut berlaku untuk setiap panjang ukur sampai beberapa deformasi lokal mengambil bagian pada skala yang cukup besar.

c. Diagram Tegangan-Regangan

Dalam mempelajari bahan, tegangan merupakan parameter yang lebih berarti daripada gaya terpakai, karena efek gaya terpakai pada suatu bahan tergantung pada luas penampang dari bagian struktur. Untuk diagram ini bisa dipergunakan skala ordinat untuk tegangan dan absis untuk regangan. Banyak material properties dari suatu bahan dapat dilihat langsung melalui hubungan diagram ini. Secara visual dapat diekspresikan alam bentuk diagram berikut :



Gambar 2.2. Hubungan Tegangan-Regangan (Stevens, 1987)

Diagram ini dapat dipergunakan dengan cukup teliti pada hampir semua bahan. Pada jarak tertentu, harga eksperimental dari tegangan dan regangan pada dasarnya terletak pada satu garis lurus.

d. Hukum Hooke

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dikatakan linier untuk semua bahan (Popov, 1994), sehingga muncul idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal dengan hukum Hooke. Hukum ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (Popov,1994),

$$\sigma = E.\varepsilon \quad (2.4)$$

dimana, E adalah modulus young atau modulus elastis

Hukum ini hanya berlaku sampai kepada batas proporsional dari bahan.

2.2. Tegangan Pada Pipa

Desain pipa lepas pantai ditentukan berdasarkan pengaruh beban yang diterima oleh pipa tersebut. Beban-beban tersebut menimbulkan tegangan pada material pipa, bila tegangan yang terjadi melebihi batas atau sama dengan yang telah diijinkan maka pipa akan mengalami kerusakan. Pertimbangan yang dibutuhkan yaitu darimana beban tersebut berasal, misalnya karena pengaruh kondisi operasional, instalasi, hidrotest, cacat, fabrikasi dan saat pengangkutan pipa ke tempat tujuan.

Untuk mencari tebal pipa lepas pantai cukup dibutuhkan beban akibat operasional dan hidrotest dengan mempertimbangkan faktor ekonomis mengingat panjang pipa yang direncanakan. Beban operasional disebabkan oleh temperatur, kurva yang terjadi akibat jalur yang dilalui dan tekanan dalam maupun tekanan luar karena kedalaman pipa di dasar laut. Sedangkan beban hidrotest ditentukan berdasarkan kode ASME/ANSI B31.8 yaitu 1,25 kali tekanan dalam saat operasional. Akan coba dipaparkan pula tentang mencari tebal pipa, kemudian tebal tersebut digunakan sebagai data untuk analisa tegangan dan akhirnya didapat tegangan kombinasi/ekivalensi. Apabila tegangan kombinasi tersebut masih di bawah tegangan yang diijinkan maka pemilihan tebal dan material pipa dapat diterima aman.

a. Ketebalan Pipa

Untuk mencari ketebalan pipa yang perlu diketahui adalah diameter pipa, tekanan internal dan yield strength material. Rumus empiris yang digunakan

berdasarkan Gas Transmission and distribution Piping system Code- ANSI B31.8 adalah sebagai berikut (DnV,1981):

$$t = \frac{P_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_y \cdot F \cdot E \cdot T} \quad (2.5)$$

dimana :

t = tebal nominal dinding pipa (in)

σ_y = tegangan luluh (psi)

P_i = tegangan dalam (psig)

D = diameter luar pipa (in)

F = desain faktor konstruksi untuk saluran pipa lepas pantai = 0,72

E = joint faktor longitudinal untuk arc welding di laut = 1,00

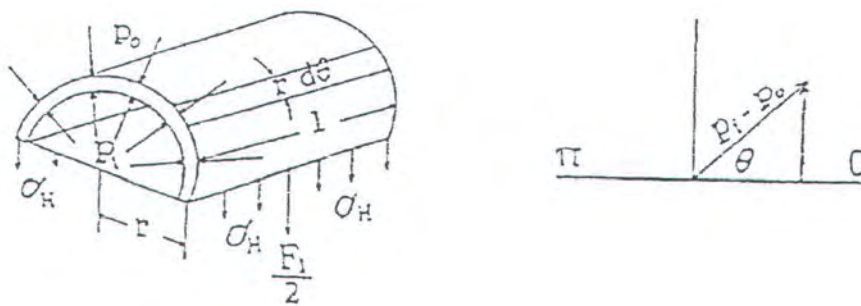
T = *derating* faktor temperatur operasional di bawah 250⁰F = 1,00

b. Tegangan Akibat Beban Operasional

Tekanan operasional maupun hidrotest, temperatur operasional dan kurva yang terbentuk akibat geografis permukaan dasar laut akan mengakibatkan terjadinya tegangan yang akan mempengaruhi struktur desain dari pipa. Ada dua tegangan yang terjadi karena pengaruh tekanan, temperatur dan penekukan yaitu pertama tegangan tangensial (*hoop stress*) pada dinding pipa dan yang kedua tegangan axial (*longitudinal stress*).

1. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan yang bekerja pada sekeliling dinding pipa dan dapat berupa tekan atau tarik, bergantung besarnya tekanan luar dan tekanan dalam. Formula untuk menghitung hoop stress dapat diturunkan dengan mempertimbangkan kesetimbangan statis pada sebuah pipa yang dikenai kedua tekanan, tekanan luar dan tekanan dalam dan dengan mempertimbangkan pipa sebagai sebuah membran elemen, dan dianggap harga tegangan tangensial konstan.



Gambar 2.3. Penampang pipa yang dikenai tekanan luar dan dalam
(Timoshenko,1984)

Dari diagram bebas diatas, untuk elemen gaya (F_1) dapat diekspresikan sebagai $(P_i - P_o) l r \partial\theta \sin \theta$.

Total gaya normal adalah jumlah dari elemen-elemen gaya pada setengah lingkaran, atau dari θ sampai π :

$$F_i = \int_0^{\pi} (P_i - P_o) l r \partial\theta \sin \theta \tag{2.6}$$

$$F_i = (P_i - P_o)l.r \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta$$

$$F_i = (P_i - P_o)l.d$$

$$\pi_H = \frac{F_i}{2.t.l} \quad (2.7)$$

dari persamaan (2.6) dan (2.7) didapatkan :

$$\sigma_H = \frac{(P_i - P_o).d}{2.t} \quad (2.8)$$

dimana :

σ_H : hoop stress

P_i : tekanan dalam

P_o : tekanan luar

d : diameter rata-rata pipa

t : tebal dinding pipa

tetapi pada umumnya yang digunakan adalah rumus Barlow, yaitu :

$$\sigma_H = \frac{(P_i - P_o).D_o}{2.t} \quad (2.9)$$

dimana D_o adalah diameter luar pipa.

2. Tegangan Axial (*Longitudinal Stress*)

Tegangan axial atau tegangan longitudinal yang terjadi pada pipa lepas pantai disebabkan oleh pengaruh termal, pengaruh tekanan dan pengaruh kurva. Pengaruh tersebut akan menyebabkan terjadinya tegangan longitudinal pengaruh thermal (σ_{LT}), tegangan longitudinal pengaruh tekanan (σ_{LP}),

tegangan longitudinal pengaruh kurva (σ_{LB}). Formula tegangan-tegangan longitudinal tersebut adalah sebagai berikut :

- Pengaruh Termal

Saluran pipa di daratan yang ditanam dalam parit maupun di lepas pantai di atas permukaan dasar laut akan menerima temperatur tertentu dan pipa dianggap dalam kondisi full restrain. Untuk thermal stress karena pengaruh thermal formulanya adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{LT} = -E.\alpha(T_2 - T_1) \quad (2.10)$$

dimana:

σ_{LT} : tegangan longitudinal pengaruh thermal

E : modulus Young

α : koefisien thermal

(T_2-T_1) : perbedaan temperatur pipa

- Pengaruh Tekanan

Longitudinal stress di dinding pipa yang dikenal net tekanan dalam akibat pengaruh poisson hoop stress dapat dirumuskan menjadi dua kondisi yaitu kondisi pipa *axially restrained* dan *axially unrestrained*.

- Untuk kondisi *axially restrained* formulanya adalah :

$$\sigma_{LP} = \nu.\sigma_H$$

$$\sigma_{LP} = \frac{\nu(P_i - P_o).D_o}{2.t} \quad (2.11)$$

- Untuk kondisi *axially unrestrained* formulanya adalah ;

$$\sigma_{LP} = 0,5\sigma_H$$

$$\sigma_{LP} = \frac{0,5(P_i - P_o)D_o}{2.t} \quad (2.12)$$

dimana :

σ_{LP} : tegangan longitudinal pengaruh tekanan

σ_H : tegangan tangensial (*hoop stress*)

ν : poisson ratio

P_i : tekanan dalam

P_o : tekanan luar

D_o : diameter luar pipa

t : tebal dinding pipa

- Pengaruh Kurva

Akibat jalur geometri dan topografi di dasar laut, saluran pipa akan membentuk kurva horisontal dan vertikal yang akan menyebabkan tegangan longitudinal pengaruh kurva atau bending pada pipa. besarnya kurva horisontal dan vertikal untuk menghitung tegangan tekuk/bending stress adalah sebagai berikut :

Radius horisontal, R_H : 9842 ft (3000 m)

Radius vertikal, R_V : 2461 ft (750 m)

Besarnya resultan momen bending akibat kurva tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$M_R = E.I. \left[\frac{1}{R_H^2} + \frac{1}{R_V^2} \right] \quad (2.13)$$

dimana ;

M_R : resultan momen bending

E : modulus Young

I : momen inersia

Berdasarkan DnV-1976 Appendik B, longitudinal stress akibat bending tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{LB} = \pm \frac{4EI \left[\frac{1}{R_H^2} + \frac{1}{R_V^2} \right]^{0.5}}{\pi.t.(D_o - t)^2} \quad (2.14)$$

dimana:

σ_{LB} : tegangan aksial/longitudinal stress akibat bending

E : modulus Young

I : momen inersia

R_H : radius horisontal

R_V : radius vertikal

t : tebal dinding pipa

D_o : diameter luar pipa

Untuk total longitudinal stress akibat adanya pengaruh thermal, tekanan dan bending adalah sebagai berikut :

$$\sigma_L = \sigma_{LT} + \sigma_{LP} + \sigma_{LB} \quad (2.15)$$

dimana :

σ_L : total tegangan longitudinal

σ_{LT} : tegangan longitudinal pengaruh thermal

σ_{LP} : tegangan longitudinal pengaruh tekanan

σ_{LB} : tegangan longitudinal pengaruh bending

c. Tegangan Akibat Beban Hidrotest

Tegangan pada kondisi hidrotest terjadi akibat adanya tekanan hidrotest yang diberikan pada pipa. sebelum pipa dialirir oleh gas, pipa diuji terlebih dahulu dengan mengalirkan air ke dalam pipa dengan tekanan 1,25 kali tekanan operasional sesuai dengan ASME/ANSI B31.8 (Ref.3) Code.

Ada dua tegangan yang terjadi pada kondisi hidrotest, yaitu *hoop stress* dan *longitudinal stress* yang seperti pada kondisi operasional. Karena tekanan hidrotest sebesar 1,25 kali tekanan operasional maka tegangan pada kondisi hidrotest dapat dicari dengan pendekatan bahwa besar *hoop stress* pada kondisi hidrotest adalah 1,25 kali *hoop stress* pada kondisi operasional dan besar *longitudinal stress* pada kondisi hidrotest adalah 1.25 kali *longitudinal stress*. Formula tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Hoop stress pada kondisi hidrotest adalah :

$$\sigma_{H \text{ Hidrotest}} = 1,25 \sigma_{H \text{ Operasional}} \quad (2.16)$$

- Longitudinal stress pada kondisi hidrotest adalah :

$$\sigma_{L \text{ Hidrotest}} = 1,25 \sigma_{L \text{ Operasional}} \quad (2.17)$$

d. Tegangan Kombinasi

Tegangan kombinasi menggunakan Distorsional Energy Theory (Von Misses Combined Stress) yang didefinisikan dalam ASME/ANSI B31.8. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_E = \left[\sigma_H^2 - \sigma_H \sigma_L + \sigma_L^2 + 3\sigma_S^2 \right]^{0.5} \quad (2.18)$$

maksimum tangensial shear stress (σ_S) relatif kecil dari pada tegangan lainnya maka dapat diabaikan. Jadi persamannya dapat disederhanakan menjadi :

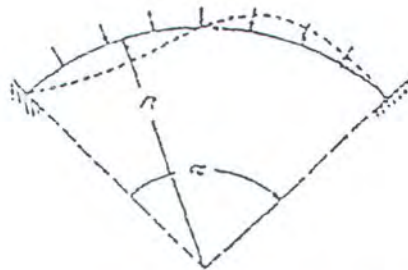
$$\sigma_E = \left[\sigma_H^2 - \sigma_H \sigma_L + \sigma_L^2 \right]^{0.5} \quad (2.19)$$

dimana :

- σ_E : maksimum tegangan ekuivalen
- σ_H : maksimum hoop stress
- σ_L : maksimum longitudinal stress
- σ_S : maksimum tangensial shear stress

e. Analisa Collapse

Pipa yang terletak di dasar laut akan mengalami *collapse* disebut *critical collapse depth*. Untuk mengetahui besarnya kedalaman pipa harus diketahui *collapse pressure* yang terjadi. Analisa formula yang digunakan untuk menentukan besarnya *collapse pressure* adalah sebagai berikut ;



Gambar 2.5. Potongan permukaan yang dijepit (Timoshenko, 1984)

Jika sebuah kubah dijepit di kedua ujungnya dan permukaan kubah menerima tekanan secara uniform, akan dapat mengalami buckle seperti ditunjukkan

oleh garis putus-putus. Nilai kritis dari tekanan bergantung dari besar sudut α dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{CR} = \frac{EI}{R^3} \cdot \left[\frac{4\pi^2}{\alpha^2} - 1 \right] \quad (2.20)$$

Formula tersebut dapat dikembangkan untuk kondisi ring yang melingkar, misalnya untuk kasus pipa yang dikenai tekanan luar. Momen inersia dari luasan ring ini adalah :

$$I = \left[\frac{L.t^3}{12} \right] \quad (2.21)$$

dan jika irisan ini akan dipertahankan tidak berubah, maka persamaan (3.16) akan menjadi :

$$P_{CR} = \frac{2E}{(1-\nu^2)} \cdot \frac{t^3}{D^3} \quad (2.22)$$

Persamaan (3.18) adalah untuk kondisi pipa dengan kerataan lingkaran yang sempurna. Faktor *ellipticity* atau *out of roundness* juga mempengaruhi dan dalam analisa ini diperhitungkan juga. *Out of roundness* pipa bisa terjadi disebabkan proses fabrikasi dari pipa yang belum dijamin kesempurnaan kerataan permukaan luar pipa.

Persamaan untuk mencari tekanan *collapse* adalah sebagai berikut :

$$P_{coll}^2 - P_{coll} \cdot \left[\frac{\sigma_y(2t)}{D} + \left(1 + \frac{3DU}{200t} \right) \cdot P_{CR} \right] + \frac{\sigma_y P_{CR}(2t)}{D} = 0 \quad (2.23)$$

dimana :

P_{coll} : collapse pressure

σ_y : tegangan luluh minimum



- D : Diameter luar
 t : tebal dinding pipa
 U : out of roundness
 P_{CR} : tekanan kritis
 E : modulus Young
 ν : poisson ratio

nilai terendah dari *collapse pressure* dari persamaan di atas yang akan digunakan untuk mencari besarnya *critical collapse depth*.

6. Tegangan Pada Pelat

Sebuah elemen dengan sisi-sisinya akan diberi tegangan tarik pada seluruh permukaannya. Dengan mengabaikan terlebih dahulu faktor tegangan geser maka akan dapat diketahui tegangan normal yang dinyatakan dengan σ dengan arah gaya ditunjukkan dengan tanda huruf didepannya.

Tegangan dalam arah x mengakibatkan regangan positif sebesar

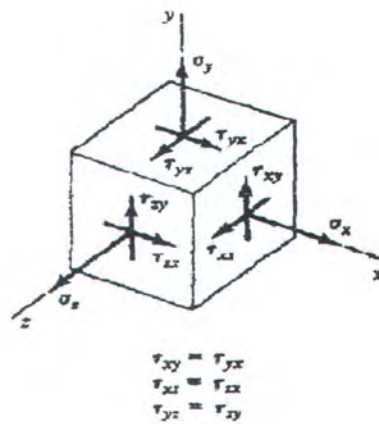
$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.24)$$

Masing-masing tegangan positif dalam arah y dan z akan menyebabkan regangan negatif dalam arah x sebagai efek Poisson. Regangan dalam arah y dan z dapat diperoleh dengan jalan yang sama, hingga jumlah regangan aksial dalam masing-masing ketiga arah adalah

$$\varepsilon_r = +\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_z}{E} \quad (2.25)$$

$$\varepsilon_x = +\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_z}{E} \quad (2.26)$$

$$\varepsilon_z = -\frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E} + \nu\frac{\sigma_z}{E} \quad (2.27)$$



Gambar 2.6. Tegangan yang bekerja pada suatu bidang (Stevens,1987)

Untuk mendapatkan nilai deformasi dari suatu elemen, maka dapat diperluas menurut arahnya adalah,

$$\Delta_x = \varepsilon_x \cdot L_x \quad (2.28)$$

hubungan ini dapat berlaku pula untuk arah y dan z.

Hubungan antara shear stress dan shear strain dapat dinyatakan dalam,

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad (2.29)$$

dimana G adalah modulus shear dari material.

Selanjutnya tegangan normal dapat diekspresikan sebagai berikut,

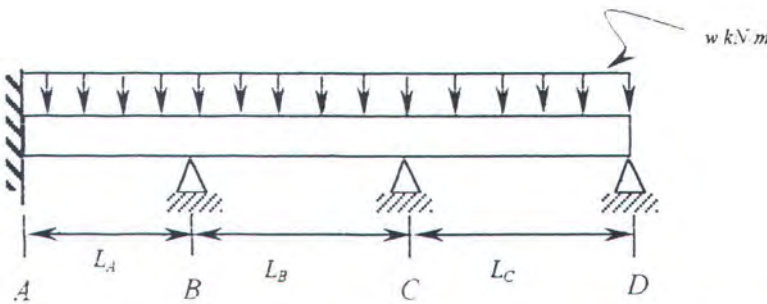
$$\sigma_x = \frac{E}{1+\nu} \left[\varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad (2.30)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1+\nu} \left[\varepsilon_y + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad (2.31)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{1+\nu} \left[\varepsilon_z + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \quad (2.32)$$

2.3. Free-Body Diagram

Dari gambar PLEM (Gambar 1.2) dapat dijelaskan melalui bentuk gambar yang lebih sederhana dengan penggambaran beban-beban yang bekerja dari luar. Secara sederhana pola pembebanan dan kondisi tumpuan pada tiap-tiap titik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.6. Free-body Diagram (Wang,1962)

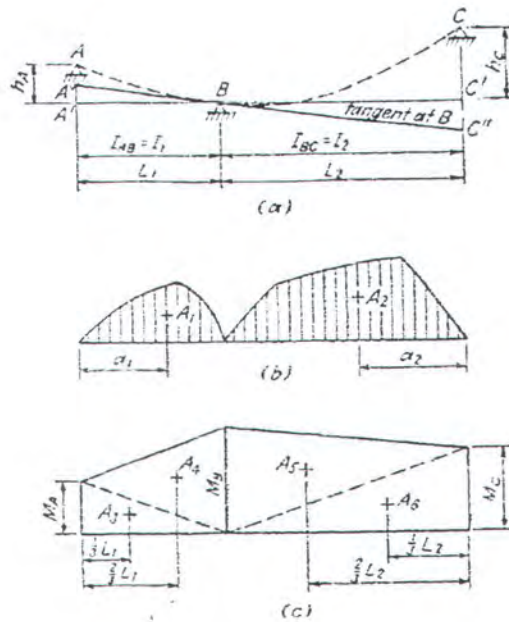
Kondisi tumpuan dari struktur diatas adalah :

A adalah tumpuan jepit B, C, dan D adalah tumpuan biasa. Pada kondisi diatas merupakan analisa statis tak tentu. Dalam semua persoalan statis tak tentu persamaan kesetimbangan statika masih tetap berlaku. Persamaan-persamaan ini adalah penting, tetapi tidak cukup untuk memecahkan

persoalan tak tentu. Persamaan-persamaan tambahan dibuat berdasarkan pertimbangan geometris dari deformasi.

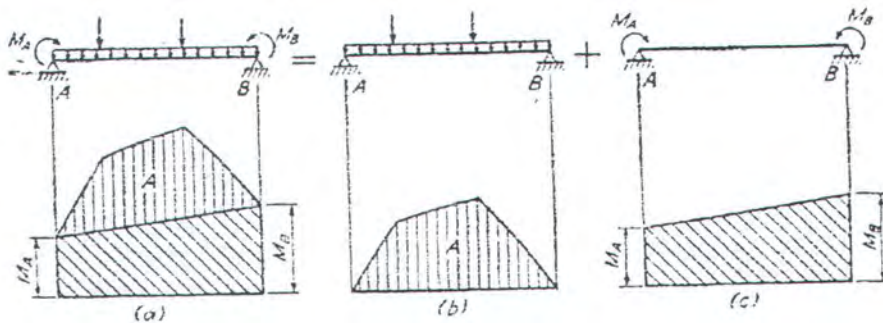
- *Persamaan Tiga Momen*

Persamaan tiga momen menyatakan hubungan antara momen tekuk di empat deretan penyangga dari sebuah balok menerus (dimana pipa dalam analisa ini dianggap sebagai balok), yang menerima pembebanan tertentu pada berbagai bentangan, dengan atau tanpa simpangan penyanggah yang tak sama. Untuk sejumlah bentangan, dapat dituliskan $n-1$ persamaan. Ini memberikan persamaan-persamaan simultan yang cukup baik untuk menyelesaikan momen-momen lebih pada tumpuan-tumpuan. Rumus berulang ini disebut persamaan tiga momen (*three-moment equation*). Penurunannya adalah sebagai berikut (Gambar 2.7): Misalkan AB dan BC pada gambar (2.7) adalah dua bentangan berdekatan di sebuah balok menerus yang karena adanya penyangga bersimpangan tak sama A dan C , amak masing-masing terletak lebih tinggi sbesar h_A dan h_C dari penyangga B . misalkan M_A , M_B dan M_C adalah momen-momen di A , B dan C dimana momen-momen inia adalah negatif jika menyebabkan tekanan di bagian atas balok tersebut. Pada gambar (2.8) dimana diagram momen pada bentangan AB dibagi menjadi dua bagian : pada gambar (2.8b) menyatakan diagram momen A akibat pembebanan yang diberikan, dengan AB dianggap sebagai balok sederhana; gambar (2.8c) menyatakan diagram momen yang dihasilkan dari momen-momen penyanggah. Gambar (2.8a)



Gambar 2.7. Diagram pembebanan (Wang,1962)

menyatakan diagram momen keseluruhan, atau jumlah dari gambar (2.8b) dan (2.8c).



Gambar 2.8. Diagram Momen

Dari gambar (2.7) menyatakan diagram momen di dua bentangan AB dan BC yang dibagi menjadi bagian-bagian persisi bentangan tunggal AB

dalam gambar (2.8). Dalam soal analisa biasa, diagram momen A_1 dan A_2 diketahui, dan masalah analisanya adalah mencari momen M_A , M_B dan M_C dapat diturunkan dari syarat balok tersebut menerus di B , atau garis singgung di B ke kurva elastis B_1 , terletak pada garis lurus yang sama seperti garis singgung B di B ke kurva BC (Gambar 2.7a). Untuk menyatakandengan cara lain, sambungan B dapat dianggap sebagai sambungan kaku, dan garis-garis singgung di B ke kurva elatis si setiap sisi harus tetap terletak 180° terhadap lainnya. Dalam gambar (2.7a) digambarkan garis singgung di B , dan dari sayarat kontinuitas, diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{A'A''}{L_1} = \frac{C'C''}{L_2}$$

dimana,

$$\begin{aligned} A'A'' &= h_A - AA'' = h_A - (\text{defleksi A dari garis singgung di B}) \\ &= h_A - \frac{I}{EI_1} \left[A_1 a_1 + \frac{M_A L_1}{2} \cdot \frac{L_1}{3} + \frac{M_B L_1}{2} \cdot \frac{2L_1}{3} \right] \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} C'CC'' &= CC'' - h_c = (\text{defleksi A dari garis singgung di B}) - h_c \\ &= \frac{I}{EI_1} \left[A_2 a_2 + \frac{M_c L_2}{2} \cdot \frac{L_2}{3} + \frac{M_B L_2}{2} \cdot \frac{2L_2}{3} \right] - h_c \end{aligned} \quad (2.34)$$

dengan memasukkan persamaan (2.33) dan persamaan (2.34) ke persamaan (3.29), maka akan didapatkan :

$$\frac{h_A}{L_1} - \frac{1}{EI_1 L_1} \left[A_1 a_1 + \frac{M_A L_1}{2} \cdot \frac{L_1}{3} + \frac{M_B L_1}{2} \cdot \frac{2L_1}{3} \right]$$

$$= \frac{1}{EI_2 L_2} \left[A_2 a_2 + \frac{M_C L_2}{2} \cdot \frac{L_2}{3} + \frac{M_B L_2}{2} \cdot \frac{2L_2}{3} \right] - \frac{h_C}{L_2}$$
(2.35)

Dengan mengalikan setiap suku dalam persamaan (3.32) dengan $6EI$ dimana I adalah konstan, maka dapat dibuat persamaan baru :

$$M_A L_1 + 2M_B(L_1 + L_2) + M_C L_2 = -\frac{6A_1 a_1}{L_1} - \frac{6A_2 a_2}{L_2} + \frac{6EI h_A}{L_1} + \frac{6EI h_C}{L_2}$$
(2.36)

dimana :

- M_A = momen bending yang bekerja pada tumpuan A
- M_B = momen bending yang bekerja pada tumpuan B
- M_C = momen bending yang bekerja pada tumpuan C
- L_1 = panjang pipa antara titik A dan B
- L_2 = panjang pipa antara titik B dan C
- I = $I_1 = I_2$ = momen inersia pipa
- A_1 = luasan bidang momen antara tumpuan A dan B
- A_2 = luasan bidang momen antara tumpuan B dan C
- a_1 = titik pusat luasan bidang momen A
- a_2 = titik pusat luasan bidang momen B
- h_A = tinggi antara tumpuan A dan B
- h_C = tinggi antara tumpuan B dan C

Untuk analisa pada struktur PLEM (gambar 1.2) setelah dibuat bentuk yang lebih sederhana dengan menjadikan pipa sebagai struktur balok dengan beban internal yang terdistribusi merata sepanjang permukaan pipa

(gambar 2.26). Terdapat titik tumpuan dengan jenis tumpuan jepit pada titik *A*. Tiga tumpuan lainnya merupakan tumpuan biasa pada titik *B*, *C*, dan *D*.

Persamaan akan didapatkan melalui :

- Jarak *AB* dan *BC*

$$M_A \cdot 0 + 2M_A \left(0 + \frac{L_A}{I}\right) + M_B \cdot \frac{L_B}{I} = 6 \left[0 + \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{w \cdot L_A^2}{8} \cdot 0,5 \cdot L_A^2}{I \cdot L_A} \right]$$

$$2M_A \cdot L_A + M_B \cdot L_B = -\frac{w \cdot L_A^3}{4} \quad (2.37)$$

- Jarak *BC* dan *CD*

$$M_B \cdot L_B + 2M_B \cdot \left(\frac{L_B}{I} + \frac{L_C}{I}\right) + M_C \cdot L_C = -6 \left[\frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{w \cdot L_B^2}{8} \cdot 0,5 \cdot L_B^2}{I \cdot L_B} + \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{w \cdot L_C^2}{8} \cdot 0,5 \cdot L_C^2}{I \cdot L_C} \right]$$

$$M_B \cdot L_B + 2M_B(L_B + L_C) + M_C \cdot L_C = -\frac{w}{4} [L_B^3 + L_C^3] \quad (2.38)$$

dimana :

L_A = jarak antara tumpuan *A* dan *B*

L_B = jarak antara tumpuan *B* dan *C*

L_C = jarak antara tumpuan *C* dan *D*

w = beban merata pada permukaan pipa

I = momen inersia pipa (konstan sepanjang pipa)

BAB III



Metodologi

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Tahapan analisa ulang yang dilakukan pada penulisan ini dapat dijelaskan secara lebih terperinci sebagai berikut :

1. Tahap Identifikasi Permasalahan

Karena seringnya terjadi permasalahan pada proses pemindahan minyak mentah dari kapal tanker ke fasilitas produksi di darat dengan fasilitas struktur *single-point mooring* (SPM) sebagai *support facilities*, maka PERTAMINA, dalam hal ini Unit Pengolahan IV yang berlokasi di Cilacap bermaksud untuk melakukan perbaikan berbagai fasilitas penunjang yang dimiliki. Salah satu fasilitas tersebut adalah *pipeline end manifold* (PLEM). PLEM adalah ujung pipa sebagai struktur yang menghubungkan antara SPM dengan *pipeline*. Apabila struktur ini mengalami masalah, maka dapat dipastikan proses pemindahan minyak dari kapal tanker berkapasitas 250.000 DWT ke fasilitas produksi di darat tidak dapat dilakukan.

Permasalahan yang muncul pada PLEM tersebut adalah terjadinya kerusakan pada ujung PLEM atau tepatnya pada *ball valve* akibat terjadinya benturan dengan *flexible riser*. Kerusakan yang lain adalah

adanya keretakan pada sambungan antara *inlet pipe* dengan *main pipe*. Selama ini kerusakan tersebut hanya diatasi secara sementara, sehingga tidak ada jaminan bahwa tidak akan terjadi kebocoran pada saat proses bongkar muat minyak mentah. Berangkat dari permasalahan tersebut, PERTAMINA UP IV Cilacap bermaksud akan melakukan pembuatan ulang struktur PLEM tersebut. Kondisi lingkungan, utamanya gelombang, yang ekstrim pada daerah tersebut-lah yang seringkali dijadikan alasan apabila terjadi kerusakan pada struktur di daerah tersebut. Maka diharapkan apabila dilakukan analisa ulang pada struktur PLEM akan dapat diketahui daerah yang rentan akan terjadinya kerusakan.

2. Data

Untuk pembuatan PLEM yang baru, PERTAMINA tidak akan melakukan perubahan pada struktur, baik secara ukuran, model, maupun kondisi beban yang nantinya akan diterima. Hanya bahan material yang digunakan adalah *High Strength Steel (HSS)*.

Daerah dimana sebelumnya terjadi kerusakan akan dijadikan sebagai titik perhatian dalam pembuatan struktur yang baru.

Data perairan adalah kondisi gelombang di daerah pada koordinat tersebut. Hipotesa yang selama ini dipakai oleh PERTAMINA adalah bahwa kerusakan terjadi karena kondisi lingkungan yang sangat ekstrim. Hal yang harus dipikirkan adalah bagaimana membuat struktur yang dapat bertahan dalam kondisi yang paling ekstrim.

Data secara lengkap tercantum pada bab Desain Data dan Pemodelan.

3. Perhitungan Beban

Dari data yang diperoleh akan dihitung besar beban yang akan diterima oleh struktur PLEM. Beban yang dihitung merupakan beban yang dianggap paling berpengaruh terhadap struktur. Kondisi pembebanan yang dijadikan dasar analisa pada penulisan ini adalah kondisi statis, artinya beban tidak akan berubah terhadap waktu. Beban yang diidentifikasi adalah :

- *Beban lingkungan*

Beban yang paling berpengaruh adalah gelombang. Kondisi gelombang yang ekstrim akan berpengaruh terhadap tekanan pada kedalaman tertentu. Beban gelombang akan dihitung sebagai fungsi tekanan pada kedalaman z .

- *Beban Operasional*

Proses transfer minyak mentah dari kapal tanker membutuhkan tekanan yang cukup besar agar fluida terdorong pindah ke fasilitas produksi di darat. Tekanan yang dipergunakan pada perhitungan ini adalah tekanan terukur saat sebelum memasuki PLEM. Pada analisa ini fluida yang berpindah diasumsikan tidak mengalami gangguan, seperti terjadinya gesekan dengan dinding struktur atau ulekan (*vortex shedding*).

4. Pemodelan Struktur

Analisa ulang ini dilakukan dengan menggunakan *software* MSC-NASTRAN, sehingga nantinya akan dapat diketahui pemodelan struktur apabila dikenai beban tertentu.

Langkah pertama dalam MSC-NASTRAN adalah dengan pemodelan struktur mendekati bentuk struktur aslinya. Pemodelan ini mencakup geometri struktur, material properties beserta ketebalannya serta pembagian struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil (*meshing*). Pembagian elemen menjadi bagian yang lebih kecil dimaksudkan untuk melihat respon terhadap beban yang diberikan secara lebih teliti. Sehingga akan diketahui daerah mana saja yang mendapat beban besar dan bagaimana respon yang diberikan.

Melalui model ini pula dapat diberikan kondisi batas (*constraint*) dan beban (*load*). Pembebanan dapat diberikan secara statis maupun dinamis, tetapi pada analisa ini kondisi pembebanan yang diberikan adalah kondisi beban statis.

Model akan dibuat menjadi dua macam dengan perbedaan sebagai berikut:

- *Model A*

Berbentuk silinder yang mempunyai volume dengan mengabaikan inlet pipe. Model ini untuk melihat respon struktur apabila diberikan beban internal dan eksternal pressure.

- *Model B*

Berbentuk silinder setengah lingkaran dengan *inlet pipe*. Bentuk setengah lingkaran diberikan karena struktur tersebut berbentuk

simetris dalam potongan sumbu z. Pemodelan pertama pada bagian ini adalah hanya untuk melihat respon struktur terhadap beban tarikan dari *flexible riser*. Selanjutnya beban akan dikombinasikan dengan eksternal dan internal pressure. Dari beban kombinasi inilah akan diketahui respon struktur mendekati dengan kondisi di lapangan.

5. Analisa

Setelah model dikombinasikan dengan beban yang bekerja, selanjutnya akan dapat diketahui respon yang terjadi. Langkah ini lebih dikenal dengan istilah *running model*. Hasil dari running tersebut dapat dibaca secara gambar berupa animasi gerakan maupun secara angka (*listing*). Sehingga dapat diketahui berapa deformasi yang terjadi. Dari hasil tersebut akan dianalisa apakah respon yang terjadi memenuhi syarat dan masih dalam batas yang diijinkan untuk kekuatan struktur.

6. Kesimpulan

Dari hasil akhir analisa ulang, akan didapatkan berapa deformasi yang terjadi dan di daerah mana saja akan terjadi tegangan yang besar. Diharapkan hasil tersebut akan dapat dijadikan sebagai rekomendasi atau bahan masukan dalam pembuatan model PLEM yang baru.

3.2. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan latar belakang dalam melakukan analisa ulang, permasalahan yang akan dicari pemecahannya, tujuan yang ingin dicapai yaitu menyelesaikan permasalahan yang ada, manfaat yang diinginkan penulisan, batasan-batasan permasalahan berupa asumsi-asumsi, dan metodologi penelitian yang dilakukan.

BAB II. LANDASAN TEORI

Dalam menyelesaikan masalah dalam laporan tugas akhir ini digunakan beberapa teori dasar yang sesuai. Dasar teori yang dipergunakan antara lain teori tentang pipa, gelombang, dasar-dasar finite elemen methode serta teori tentang pelat dan cangkang.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Tercantum didalamnya bagaimana langkah-langkah dalam mengidentifikasi suatu permasalahan, pengumpulan data yang berkaitan dengan permasalahan, pengolahan data, pembuatan model struktur, pembebanan, analisa dan pengambilan kesimpulan. Selain itu sistematika penulisan juga dicantumkan.

BAB IV. DESAIN DATA DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini menjelaskan desain data dari PLEM, kondisi lingkungan, dan operasional. Penjelasan bagaimana membuat model struktur juga dicantumkan pada bab ini.

BAB V. ANALISA HASIL

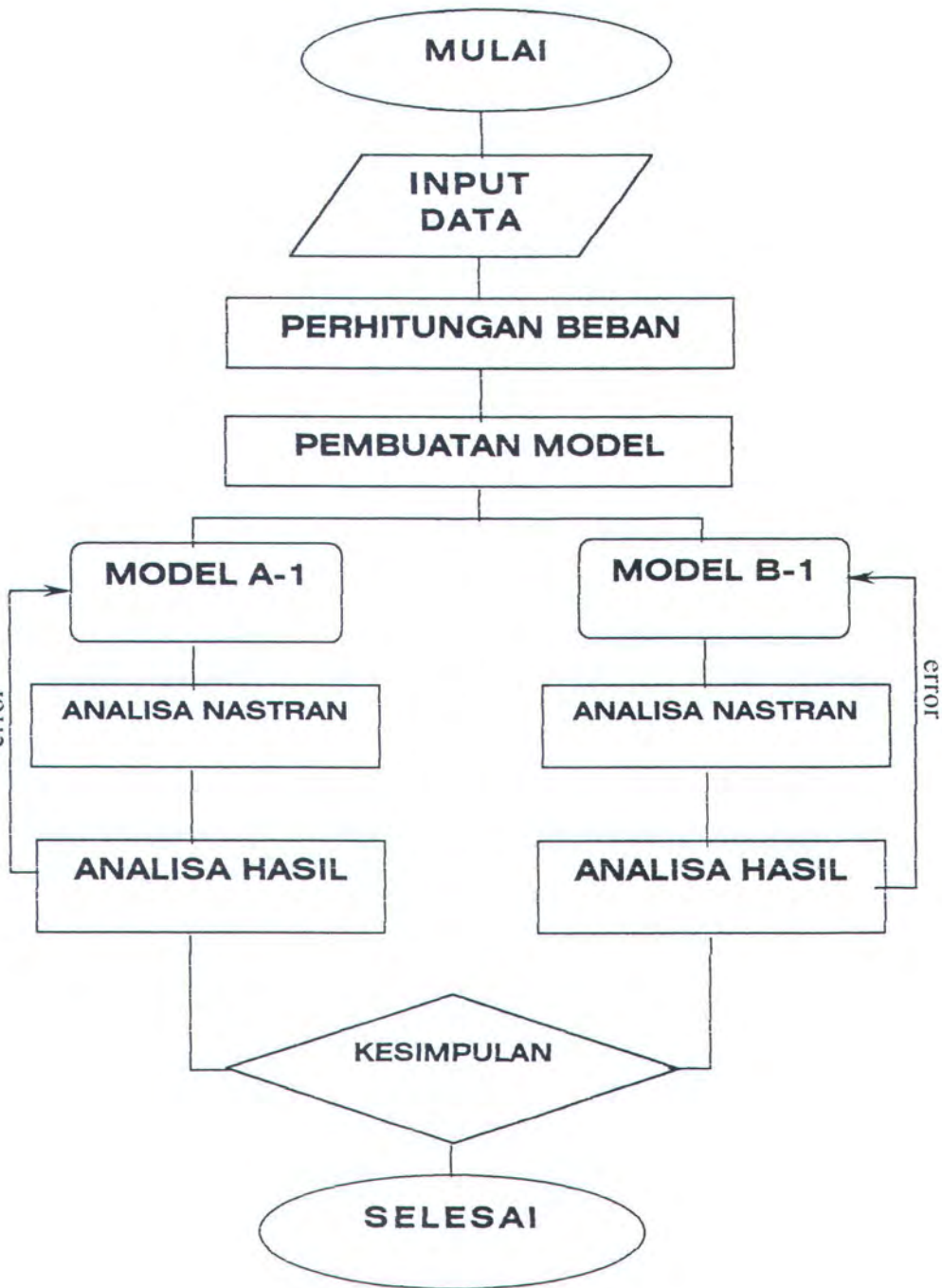
Bab ini menjelaskan analisa respon struktur dilakukan dengan menggunakan software MSC-NASTRAN. Selanjutnya akan

diketahui apakah terjadi over stress pada elemen penyusun struktur PLEM. Setelah itu respon struktur akan diplot menjadi bentuk grafik.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan ringkasan hasil analisa baik dari perhitungan manual maupun dari perhitungan dengan bantuan software MSC-NASTRAN. Dan selanjutnya hasil dari analisa ulang ini dapat dijadikan sebagai rekomendai untuk pembuatan struktur PLEM yang baru.

DIAGRAM ALIR



BAB IV

Desain Data

Dan Remodelan



BAB IV

DATA DESAIN DAN PEMODELAN

4.1. DATA DESAIN

Untuk melakukan analisa ulang *Pipeline End Manifold* (Gambar 1.2) digunakan software MSC-NASTRAN. Sebelum melakukan analisa PLEM yang disebabkan oleh beban tekanan dari dalam dan luar, maka diperlukan parameter-parameter desain yang mendukung analisa tersebut yaitu desain data. Desain data meliputi data PLEM, data lingkungan, dan data operasional pada saat bongkar muat minyak mentah.

4.1.1. DATA PLEM

Berdasarkan kebutuhan banyaknya minyak yang akan dialirkan ke fasilitas produksi di darat. Dari desain perencanaan awal, parameter PLEM (Gambar 1.2) sebagai berikut :

| | |
|---------------------|---|
| Jenis Produk | : <i>Crude oil</i> (minyak mentah) |
| Rata-rata tekanan | : 150 lb |
| Diameter Pipa | : 46" (OD 1168.4 x 19 thk) |
| Diameter inlet pipe | : 24" (OD 609.6 x 12.7 thk) dengan radius elbow 90 ⁰ |
| Tipe ball valve | : <i>Manually gear operated</i> |

| | |
|----------------|--------------------------|
| Jenis material | : High Strength Steel |
| Modulus Young | : $1.99 \cdot 10^5$ MPa |
| Shear Modulus | : $7.584 \cdot 10^5$ MPa |
| Poisson Ratio | : 0.32 |
| Berat Total | : 16863 kg |

Pipa dipasang diatas dudukan struktur berjarak 900 cm dari *seabed* dengan sistem piling, seperti yang terlihat secara lengkap pada lampiran.

Pada ujung pipa yang berbentuk *elliptical head* dengan ketebalan 18 thk terdapat *ball valve* berukuran 4"-300# ANSI yang pada tulisan kali ini coba dicari jawabannya.

Pada kedua sisi kanan dan kiri PLEM (seperti pada gambar 1.1) terdapat *elbow inlet pipe* yang terhubung ke *single-point mooring* dengan menggunakan *flexible pipe*. Adapun dimensi dari *flexible pipe* tersebut adalah,

| | |
|--|---------------------------|
| Panjang | : 150 feet |
| Diameter | : 24 " |
| Beban Tarikan tiap flexible pipe (terukur) | : 2991 kN |
| Konfigurasi | : <i>Chinnese Lantern</i> |

4.1.2. DATA LINGKUNGAN

Daerah dimana struktur PLEM dipasang mempunyai karakteristik lingkungan laut Jawa bagian selatan yang terkenal dengan kondisi lingkungan yang ekstrim. Lokasi dari PLEM kira-kira 18 km dari pantai Teluk Penyus, lepas pantai Cilacap Jawa Tengah, pada koordinat 07.49'.16,18" LS dan 109.06'.20,36" BT, (*layout* lokasi terlampir). Kondisi *water levels* adalah sebagai berikut :

Low water levelspring : 35 m (LWS)

Mean sea level : 37 m (MSL)

High water level : 38 m (HWS)

Kondisi lingkungan dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut :

- Kondisi survival

Tabel 4.1. Karakteristik Gelombang Survival

| | Unit | Value |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| Tinggi gelombang maksimum | m | 13.4 |
| Tinggi gelombang signifikan | m | 7.2 |
| Panjang gelombang | m | 228.969 |
| Periode gelombang | s | 13.0 |
| Kecepatan angin | Knots (m/s) | 83.6 (43) |
| Kecepatan arus (permukaan) | Knots (m/s) | 3.1 (1.6) |

Kondisi survival diketahui dari data lingkungan dalam kurun waktu 100 tahun. Pada kondisi ini tidak ada kapal tanker yang ditambatkan untuk proses bongkar muat.

- Kondisi Operasional

Tabel 4.2. Kondisi Operasional

| | Unit | Value |
|-----------------------------|-------------|------------|
| Tinggi gelombang maksimum | m | 6.5 |
| Tinggi gelombang signifikan | m | 3.5 |
| Panjang gelombang | m | 10 |
| Periode gelombang | s | 158.258 |
| Kecepatan angin | Knots (m/s) | 40 (20.6) |
| Kecepatan arus (permukaan) | Knots (m/s) | 2.0 (1.03) |

4.1.2. DATA OPERASIONAL

Operasional data adalah parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menganalisa tegangan yang dikenai pada pipa. Data tersebut berupa data tekanan dan temperatur. Data ini meliputi karakteristik produk fluida yang dipindahkan dan data kondisi tekanan internal.

Perencanaan tekanan internal operasional pada saluran PLEM ini adalah :

- Working pressure* : 225 psi
- Design pressure* : 280 psi
- Test Pressure* : 240 psi
- Temperatur Aliran : mencapai 82⁰C
- Rata-rata aliran : 10.000 m³/jam

Produk fluida tersebut ditranfer dari kapal tanker berkapasitas 250.000 DWT ke fasilitas produksi di darat melalui struktur *single-point mooring* (SPM).

Tabel 4.3. Data produk

| Description | Produk A | Produk B | Produk C |
|--------------------|----------|----------|----------|
| Gravity | 33.3 | 34.3 | 33.7 |
| S.G | 0.855 | 0.855 | 0.855 |
| Total sulphur (%W) | 1.82 | 1.5 | 1.95 |
| Pour Point (°F) | 36.00 | 65.00 | 35.00 |
| Viscosity | | | |
| - 70 OF cST | 7.88 | 6.60 | 10.6 |
| - 1000F cST | 4.06 | 5.6 | 6.5 |

Untuk tekanan hidrotest sebesar 1.25 kali tekanan operasional. Hal ini dilakukan pada saat inspeksi untuk mengetahui apakah terjadi kebocoran/kerusakan pada PLEM dan saluran pipa menuju ke darat. Karakteristik fluida yang dipindahkan adalah seperti yang tercantum pada tabel 3.

4.2. PEMODELAN STRUKTUR

Tahap pertama dalam melakukan analisa dengan fasilitas software MSC-NASTRAN perlu dilakukan pemodelan struktur menjadi bentuk struktur yang lebih sederhana. Dasar pembuatan model struktur PLEM di lokasi PERTAMINA Cilacap ini adalah dengan model struktur lama, baik secara geometris maupun desain operasionalnya.

Secara geometris ukuran struktur PLEM yang sekarang terpasang adalah sebagai berikut (Gambar 1.2) :

| | |
|---------------|-------------|
| Panjang | : 8222 mm |
| Diameter luar | : 1168.4 mm |
| Ketebalan | : 19 mm |
| Tumpuan | : |

Terdapat tiga tumpuan berupa tumpuan jepit pada posisi :

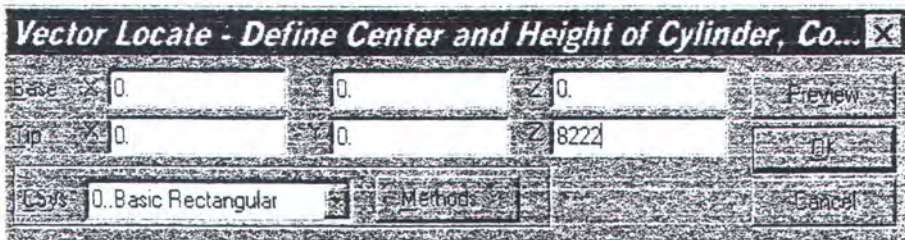
| | |
|-----------|---|
| Tumpuan 1 | : di ujung pipa yang menghubungkan ke <i>pipeline</i> |
| Tumpuan 2 | : 1250 mm |
| Tumpuan 3 | : 6972 mm |

Pembuatan model struktur mengikuti langkah-langkah sebagai berikut ;

4.2.1. Pembuatan Model Struktur

a. Membuat Geometri

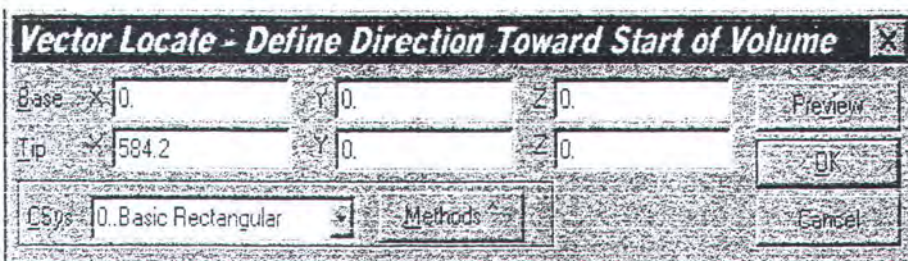
- Pembuatan struktur dimulai dengan pemodelan sesuai dengan geometris struktur yang diinginkan. PLEM dapat dimodelkan sebagai bentuk silinder yang mempunyai volume. Langkah pertama



perlu didefinisikan titik pusat, arah dan panjang dari silinder dengan sistem koordinat *basic rectangular*.

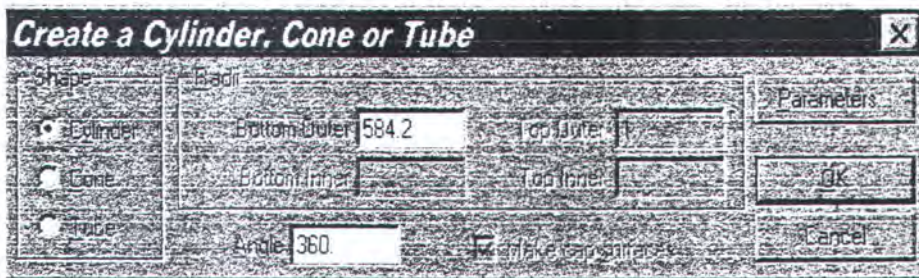
Gambar 4.1. Langkah Penentuan Geometri

Untuk menentukan lebar dari PLEM berdasarkan radius pipa,



Gambar 4.2. Lankah Penentuan Lebar

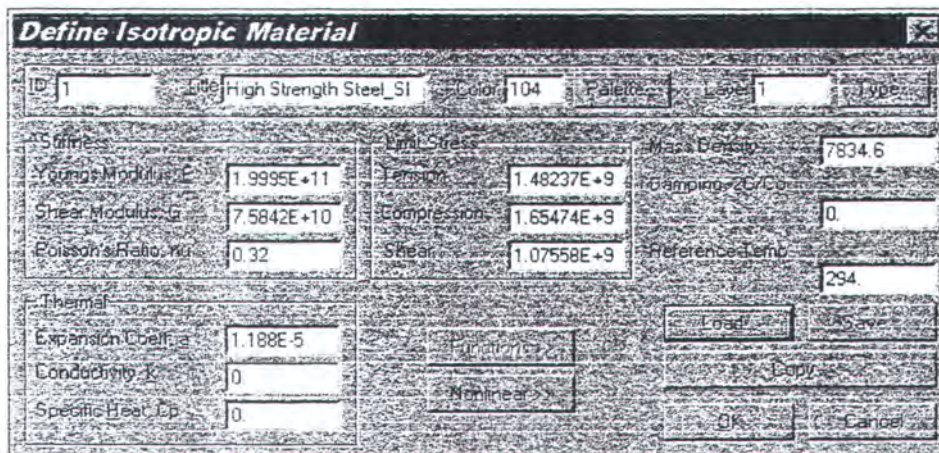
- Kemudian dipilih bentuk silinder dan menentukan berapa nilai radiusnya untuk *bottom outer radius*.



Gambar 4.3. Langkah Penentuan Radius

b. Menentukan Material Properties

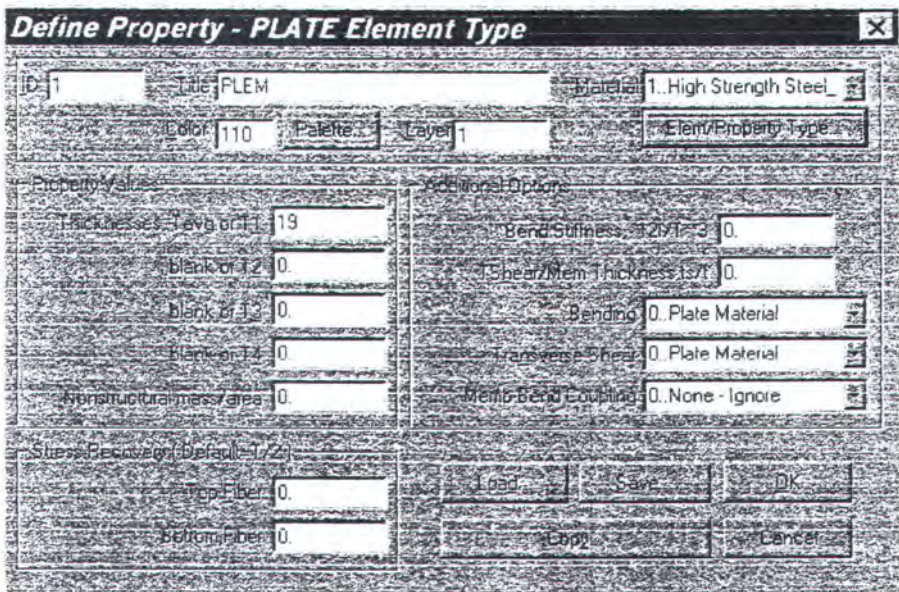
Dari data material yang tersedia dapat dimasukkan material (*create material*) yang menyusun struktur PLEM tersebut, baik jenis material sampai dengan ketebalannya.



Gambar 4.4. Langkah Penentuan jenis material untuk ID 1

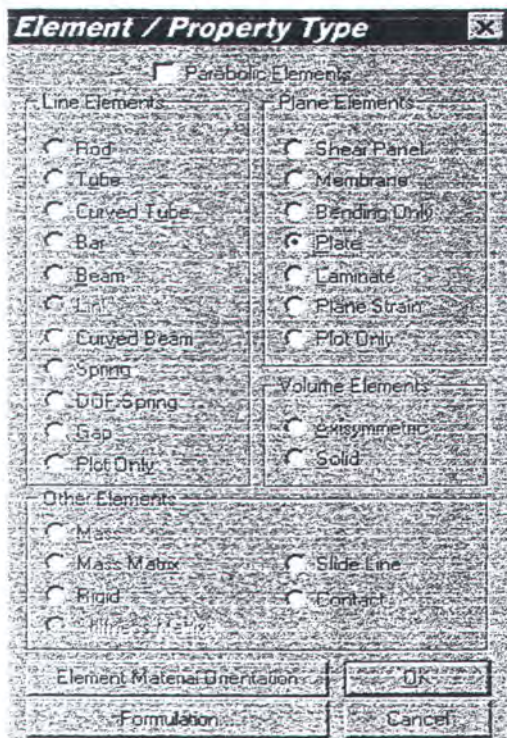
c. Menentukan Properties Elemen

Untuk mendefinisikan elemen atau tipe properties (*create property*) perlu dipilih bentuk elemen penyusun PLEM. Dalam hal ini adalah elemen plate.



Gambar 4.5. Penentuan Properties Material

Untuk menentukan elemen dalam bentuk plate, dapat ditentukan

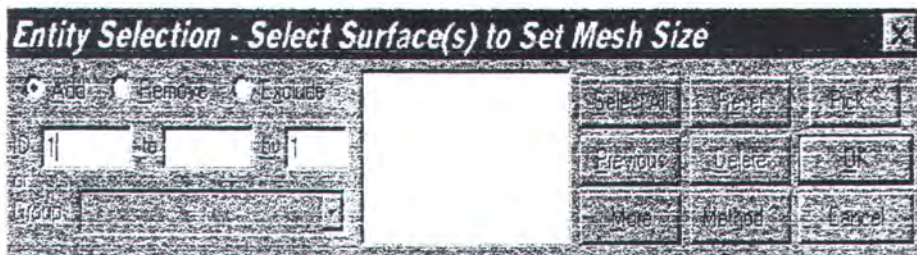


Gambar 4.6. Langkah penentuan elemen plat

d. Menentukan Ukuran Mesh

Setelah bentuk struktur dibuat sesuai dengan model yang diinginkan, kemudian dibuat mesh untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Bentuk elemen yang dipilih adalah bentuk *quadrilateral* (segi empat). Pembagian elemen ini harus seefektif mungkin agar elemen yang dibuat tidak terlalu kecil maupun terlalu besar, sehingga dapat diketahui respon struktur pada elemen dan node dari struktur PLEM.

- Meshing dimulai dengan menentukan permukaan yang akan dibuat dibagi elemennya.

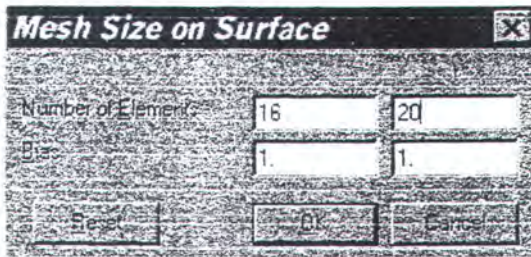


Gambar 4.7. Langkah *setting* mesh



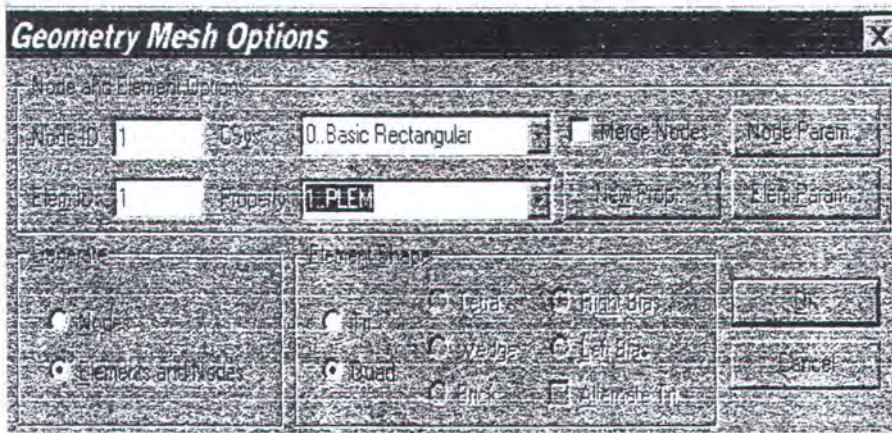
Gambar 4.8. Langkah penentuan permukaan mesh

- Jika telah ditentukan permukaan yang akan dibagi, untuk selanjutnya ditentukan akan dibagi sampai menjadi berapa banyak elemen permukaan tersebut.



Gambar 4.9. Langkah penentuan jumlah meshing

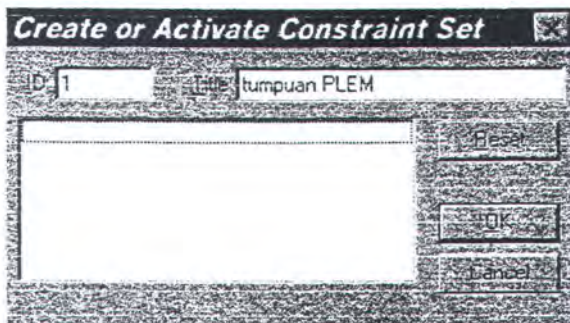
- Pemilihan entity perlu dilakukan untuk membenarkan bahwa permukaan tersebut yang akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil.
- Setelah dipastikan permukaan yang akan di-meshing dan berapa banyak permukaan tersebut akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Selanjutnya dapat ditentukan bentuk meshing yang diinginkan.



Gambar 4.10. Langkah pemilihan jenis mesh

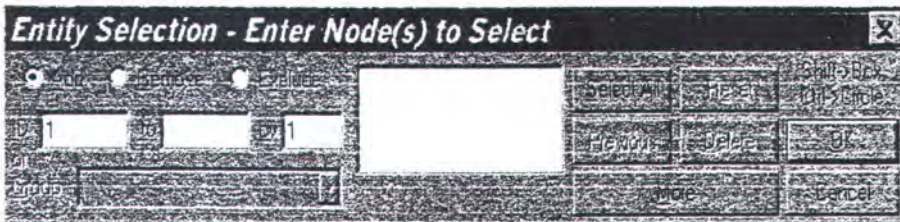
e. Menentukan Constraint

Constraint dibuat sesuai dengan model yang akan dianalisa, bagaimana bentuk constraint-nya dan pada elemen berapa constraint tersebut akan dipasang. Constraint akan berpengaruh pada respon struktur terhadap beban yang akan diterima.



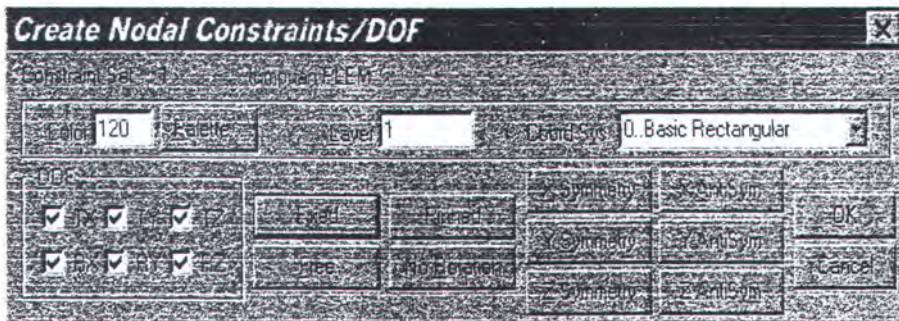
Gambar 4.11. Langkah setting constraint

- Menentukan titik-titik pembagian node dan elemen

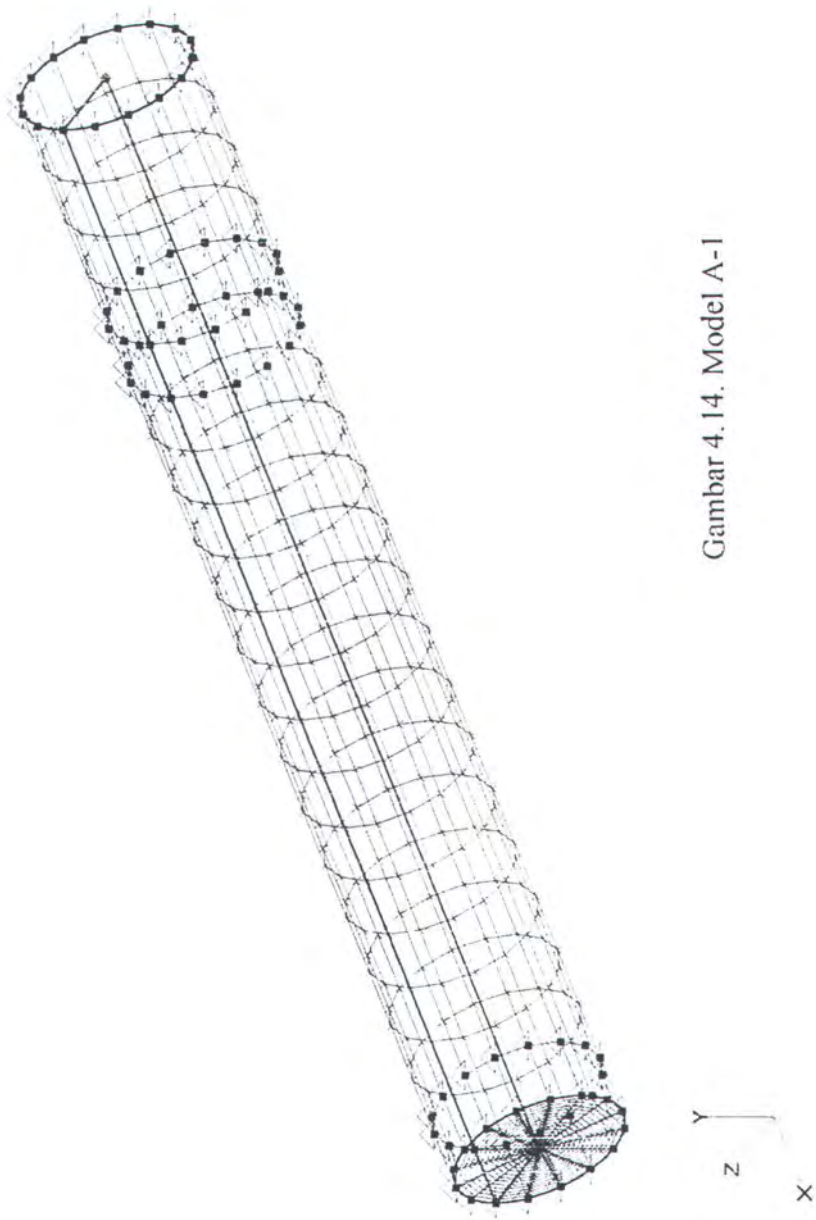


Gambar 4.12. Langkah penentuan constraint pada node

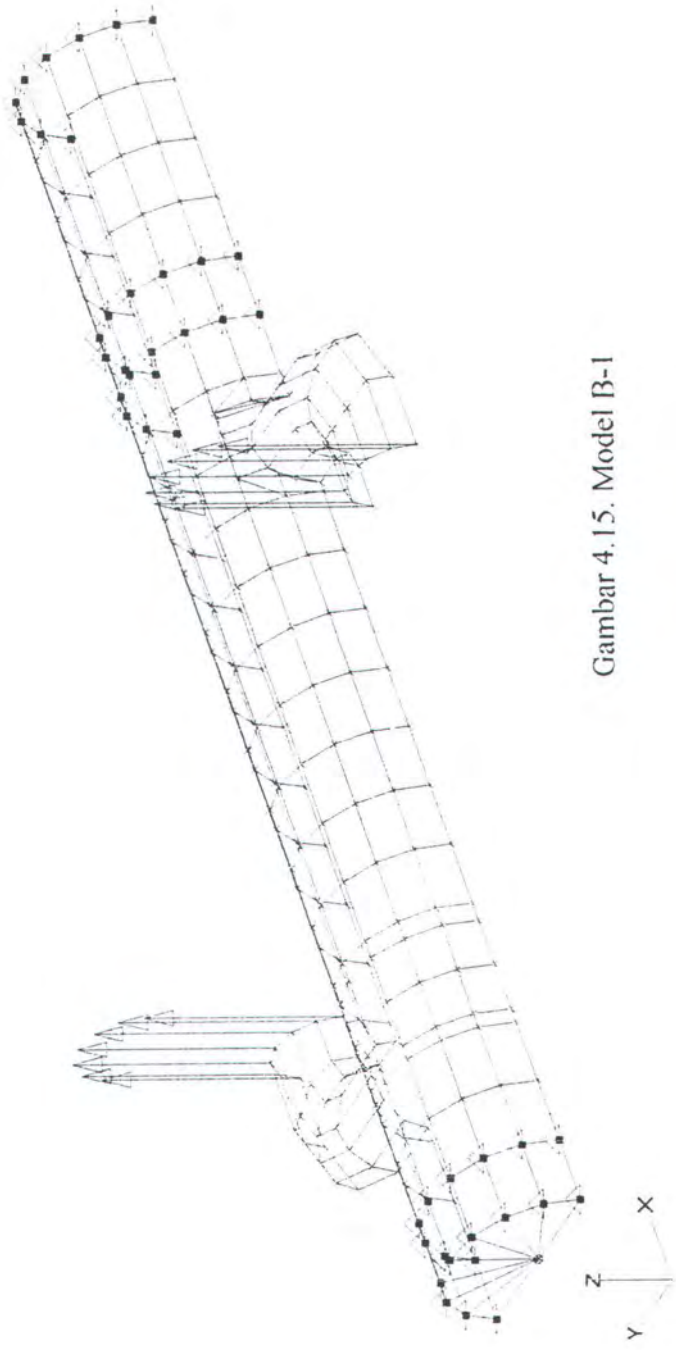
- Menentukan jenis constraint pada node atau elemen



Gambar 4.13. Langkah penentuan jenis constraint



Gambar 4.14. Model A-1



Gambar 4.15. Model B-1

V1
L2
C1

BAB V



Analisa Dan Pembahasan

BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan memberikan gambaran hasil perhitungan tegangan akibat beban operasional dan beban lingkungan dengan tujuan tegangan yang terjadi tidak menyebabkan overstress dengan jenis material yang dipakai, diameter dan tebal pipa yang telah ditentukan sebelumnya. Respon PLEM didapatkan setelah melakukan analisa dengan MSC-NASTRAN pada kondisi statis.

5.1. Respon Struktur

Spesifikasi material yang dipergunakan dalam analisa ulang struktur pipeline end manifold (PLEM) adalah sebagai berikut :

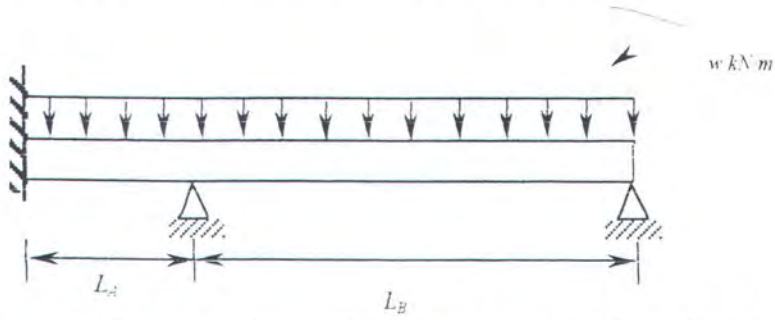
- Jenis Material : High Strength Steel (HSS)
- Modulus Young : $1,99 \cdot 10^5$ MPa
- Shear Modulus : $7.584 \cdot 10^4$ Mpa
- Poisson Ratio : 0.32

Limit tegangan diketahui,

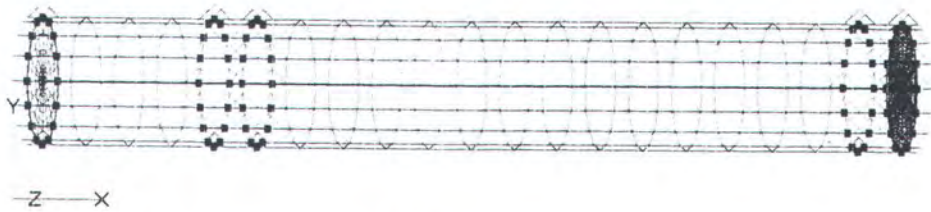
- Tension : $1.48 \cdot 10^3$ Mpa
- Compression : $1.65 \cdot 10^3$ Mpa
- Shear : $1.07 \cdot 10^3$ MPa

Sedangkan beban utama yang bekerja adalah tekanan dalam dan luar. Selain itu gerakan naik turun dari flexible riser akan menyebabkan beban tarikan pada ujung dari inlet pipe.

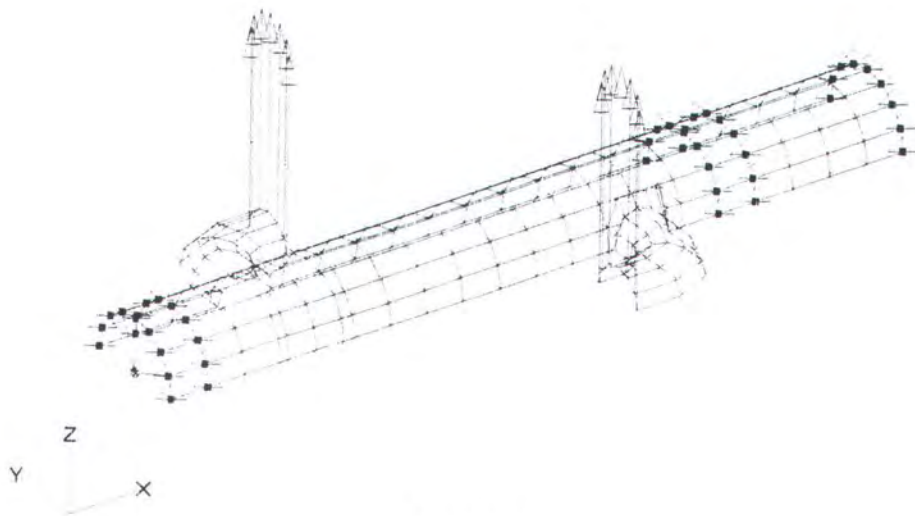
Dalam Free-Body Diagram dapat digambarkan sebagai berikut :



Dari diagram tersebut akan dimodelkan dalam bentuk NASTRAN menjadi dua model yaitu :



Model A-1



Model B-1

1. Model A-1

Model A-1 berbentuk silinder dengan panjang 8222 mm, *outside diameter* 1168 mm dan ketebalan 19 mm. Struktur ini dimodelkan dengan tidak memperhitungkan faktor pengaruh inlet pipe, sehingga beban tarikan dari gerakan flexible riser diabaikan. Pemodelan ini dimaksudkan untuk mendapatkan besar tegangan hanya akibat beban tekanan internal dan eksternal. Kedua beban ini dikombinasikan menekan dinding pipa. Tekanan terjadi pada tiap-tiap elemen yang pada akhirnya, struktur akan memberikan respon terhadap beban-beban tersebut.

Model ditumpu secara fixed pada tiga titik tumpuan utama mengelilingi PLEM. Letak constraint pertama di titik $(0, y, z)$ sedangkan letak kedua dan ketiga adalah $(2055, y, z)$; $(7811, y, z)$ selain itu pada ujung model A-1 juga diberikan fixed constraint.

Tabel 5.1. Output Model A-1(Output Vector: Deformation)

| Hasil | N/E* | Tipe | Max | N/E |
|----------------------|------|--------------|---------|-----|
| T1 Translasi | N | Displacement | 0.0168 | 273 |
| T2 Translasi | N | | 0.0138 | 205 |
| T3 Translasi | N | | 0.002 | 213 |
| Total Translasi (mm) | N | | 0.017 | 205 |
| R1 Rotasi | N | Displacement | 0.003 | 221 |
| R1 Rotasi | N | | 0.0008 | 103 |
| R3 Rotasi | N | | 0.0002 | 507 |
| Totasl Rotation(rad) | N | | 0.0032 | 426 |
| Applied Force | E | Force | 34361.5 | 20 |
| Applied Moment | E | Force | 0 | 1 |
| Constrain Force | E | Force | 1979328 | 86 |
| Constrain Moment | E | Force | 4667113 | 16 |
| Normal Stress x | E | Stress | 2358 | 568 |
| Normal Stress y | E | Stress | 4717 | 563 |
| Top | | | | |
| Mean Stress | E | Stress | 3232 | 565 |
| Shear Stress | E | Stress | 1579 | 562 |
| Von Misses Stress | E | Stress | 4123.6 | 563 |
| Bottom | | | | |
| Mean Stress | E | Stress | 104.3 | 184 |
| Shear Stress | E | Stress | 1579.3 | 562 |
| Von Misses Stress | E | Stress | 4123.6 | 563 |

*N: Node ; E:Elemen

Respon yang diberikan oleh PLEM terhadap beban tersebut merupakan respon berdasarkan ID, baik respon pada node atau pada elemen, dan hasil respon tiap-tiap ID tersebut akan ditampilkan seluruhnya dalam list output NASTRAN. Besar nilai respon yang ditampilkan mulai nilai minimal sampai dengan nilai maksimal. Nilai respon yang dihasilkan tercantum pada Tabel 5.1. atau lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran listing program NASTRAN.

Dari respon struktur yang dihasilkan akan dilakukan analisa yang berkaitan dengan tegangan yang bekerja pada PLEM. Termasuk didalamnya adalah tegangan normal, geser, dan von mises. Selain itu analisa dilakukan untuk respon tegangan yang terjadi sehingga menimbulkan deformasi pada PLEM.

2. Model B-1

Model B-1 berbentuk setengan silinder karena diasumsikan bahwa struktur berbentuk simetris. Panjang struktur adalah 8222 mm dengan radius 584 mm untuk pipa utama. Di samping kiri dan kanan PLEM terdapat inlet pipe dengan sudut kelengkungan sebesar 90 derajat. Inlet pipe tersebut mempunyai diameter 609 mm dan ketebalan 12 mm.

Beban yang bekerja pada model B-1 adalah beban tarikan akibat gerakan flexible riser yang menghubungkan PLEM dengan SPM. Gerakan ini terjadi sejalan dengan pergerakan SPM akibat beban lingkungan.

Kombinasi beban adalah dengan tekanan eksternal dari air laut pada kedalaman 37 m dan tekanan internal sebesar 280 psi.

Model ini dibuat adalah untuk mengetahui respon struktur PLEM apabila dikenai ketiga beban tersebut. Respon PLEM yang dihasilkan dapat ditampilkan pada Tabel 5.2. atau lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran *listing output* NASTRAN.

Tabel 5.2. Output Model B-1(Output Vector: Deformation)

| Hasil | N/E* | Tipe | Max | N/E |
|----------------------|------|--------------|---------|-----|
| T1 Translasi | N | Displacement | 0.0158 | 282 |
| T2 Translasi | N | | 0.0128 | 266 |
| T3 Translasi | N | | 0.0018 | 266 |
| Total Translasi (mm) | N | | 0.016 | 266 |
| R1 Rotasi | N | Displacement | 0.0028 | 224 |
| R1 Rotasi | N | | 0.0007 | 288 |
| R3 Rotasi | N | | 0.0002 | 73 |
| Totasi Rotation(rad) | N | | 0.003 | 248 |
| Applied Force | E | Force | 37526.4 | 301 |
| Applied Moment | E | Force | 0 | 1 |
| Constrain Force | E | Force | 1857262 | 134 |
| Constrain Moment | E | Force | 3877451 | 88 |
| Normal Stress x | E | Stress | 2587 | 134 |
| Normal Stress y | E | Stress | 4531 | 178 |
| Top | | | | |
| Mean Stress | E | Stress | 3476 | 192 |
| Shear Stress | E | Stress | 1586 | 130 |
| Von Misses Stress | E | Stress | 5367.3 | 130 |
| Bottom | | | | |
| Mean Stress | E | Stress | 112.3 | 178 |
| Shear Stress | E | Stress | 1328.7 | 179 |
| Von Misses Stress | E | Stress | 3911.2 | 179 |

*)N: Node ; E:Elemen

Dari respon yang dihasilkan nantinya akan dipergunakan respon struktur yang berhubungan dengan tegangan yang terjadi. Apakah nantinya dengan beban-beban tersebut struktur akan terdeformasi atau mengalami konsentrasi tegangan pada daerah-daerah tertentu..

5.2. Perhitungan Tegangan Pipa

1. Perhitungan Pada Elemen

Dari data diketahui bahwa:

Tekanan dalam : 1.93 MN/m²

Tekanan Luar : 0.37 MN/m²

Radius PLEM : 584 mm

Thickness : 19 mm

Maka dapat diketahui bahwa :

- Longitudinal Stress (σ_L)

$$\sum F_x = \pi.R^2.P - 2.\pi.R.t.\sigma_L = 0$$

Longitudinal stress didapatkan dengan,

$$\sigma_L = \frac{P.R}{2.t}$$

dimana :

P : Selisih tekanan dalam dan luar ($P_{dalam} - P_{luar}$) (N/m²)

R : Radius rata-rata (mm)

T : Ketebalan (mm)

Maka didapatkan tegangan longitudinal sebesar,

$$\begin{aligned}\sigma_L &= \frac{(1.93 \text{ N/mm}^2 - 0.37 \text{ N/mm}^2) \cdot 574.5 \text{ mm}}{2 \cdot 19 \text{ mm}} \\ &= 23.58 \text{ N/mm}^2 \\ &= 23.58 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

- Circumference Stress (σ_c atau σ_y)

$$\sum F_y = 2.L.t.\sigma_c - 2.R.L.P$$

dimana :

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{P.R}{t} \\ &= \frac{(1.93N/mm^2 - 0.37N/mm^2).574.5mm}{19mm} \\ &= 47.17 N/mm^2 \\ &= 47.17 \cdot 10^6 N/m^2\end{aligned}$$

Jika diambil satu bagian elemen kecil dari PLEM yang telah dibagi berdasarkan *meshing* NASTRAN, maka dapat diambil satu elemen kecil sebagai perhitungan.

Deformasi dari pelat dapat dicari dengan mengetahui gaya normal pada arah x , y dan z .

- **Regangan**

Pada arah sumbu- x

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu.\sigma_y}{E}$$

Dimana :

σ_x : Normal Stress pada arah x

σ_y : Normal stress pada arah y

ν : Poisson ratio

Akan didapatkan,

$$= \frac{23.58 N / mm^2 - 0.32.47.17 N / mm^2}{1.99.10^5 N / mm^2}$$

$$= 4.26.10^5$$

Pada arah sumbu-y

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu.\sigma_x}{E}$$

$$= \frac{47.17 N / mm^2 - 0.32.23.58 N / mm^2}{1.99.10^5 N / mm^2}$$

$$= 1.99.10^4$$

Pada arah sumbu-z

$$\varepsilon_z = \frac{-\nu(\sigma_x + \sigma_y)}{E}$$

$$= \frac{-0.32(47.17 N / mm^2 + 23.58 M / mm^2)}{1.99.10^5 N / mm^2}$$

$$= 1.1.10^4$$

Hasil dimensi pertambahan sebesar,

$$\text{Sumbu-X} \quad : X' = X(1 + \varepsilon_x)$$

$$\text{Sumbu-Y} \quad : Y' = Y(1 + \varepsilon_y)$$

$$\text{Sumbu-Z} \quad : Z' = Z(1 - \varepsilon_z)$$

Dimana,

X, Y, dan Z adalah panjang mula-mula

Maka :

$$X' = 411 (1 + 4.26 \cdot 10^{-5})$$

$$= 411.0175 \text{ mm}$$

Deformasi ke arah x akan terjadi sebesar = 411, 0175 mm – 411 mm

$$\Delta X = 0.0175 \text{ mm}$$

$$Y' = 73 (1 + 1.99 \cdot 10^{-4})$$

$$= 73.0145 \text{ mm}$$

Deformasi ke arah y akan terjadi sebesar = 73.0145 mm – 73 mm

$$\Delta Y = 0.0145 \text{ mm}$$

$$Z' = 19 (1 + 1.11 \cdot 10^{-4})$$

$$= 19.0021 \text{ mm}$$

Deformasi ke arah z akan terjadi sebesar = 19.0021 mm – 19 mm

$$\Delta Z = 0.0021 \text{ mm}$$

- Tegangan Geser

Perhitungan mencari tegangan geser pada perhitungan ini adalah untuk mendapatkan tegangan geser maksimum. Tegangan geser maksimum ekuivalen dengan tegangan kritis.

$$\tau_{xy} = \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2} \cdot \tan(2\theta)$$

$$= \frac{(47.17 \text{ N/mm}^2 - 38.17 \text{ N/mm}^2)}{2} \tan 2.90^\circ$$

$$= -15.79 \text{ N/mm}^2 \text{ (melawan gaya luar)}$$

- **Momen bending**

Setelah diketahui besar tegangan geser dari plate, untuk selanjutnya dapat diketahui besar dari momen bending material. Besar momen bending dapat ditentukan dengan,

$$M_t = 2 \cdot \pi R^3 \cdot t \tau$$

Dimana,

M_t : Momen bending (N.m)

τ : Tegangan Geser (N/mm²)

Maka,

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot (584 \text{ mm})^3 \cdot 19 \text{ mm} \cdot 15.79 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1100293 \text{ N.mm}$$

5.3. **Analisa Hasil**

Setelah diketahui respon PLEM dari listing run MSC:NASTRAN akan diketahui perbandingannya dengan perhitungan secara manual (teoritis). Analisa lebih ditekankan pada kekuatan material terhadap beban-beban yang bekerja. Tinjauan dari kekuatan material lebih dipertegas untuk mengetahui hasil analisa NASTRAN, sehingga akan terjawab nantinya kekuatan material dan di daerah mana saja terjadi tegangan terbesar. Harga yang didapatkan dari respon struktur dan perhitungan teoritis akan dapat

memperlihatkan apakah tegangan yang terjadi melebihi batas dari kekuatan material atau tidak. Nilai dari respon struktur diambil nilai maksimal.

1. *Analisa Model A-1*

- Deformasi

Pada arah x terjadi displacement sebesar,

NASTRAN : 0.0168 mm

Teoritis : 0.0175 mm

Koreksi : $\frac{(0.175 - 0.168)}{0.175} * 100\%$

: 3.2 %

Translasi terbesar pada arah x terjadi pada node ID 213.

Pada arah y terjadi displacemen sebesar,

NASTRAN : 0.0138 mm

Teoritis : 0.0145 mm

Koreksi : $\frac{(0.0145 - 0.0138)}{0.0145} * 100\%$

: 3.7 %

Translasi ke arah y mengalami displacemen terbesar pada node ID 205.

Pada arah z terjadi displacement sebesar,

NASTRAN : 0.002 mm

Teoritis : 0.0021 mm

$$\text{Koreksi} : \frac{(0.0021 - 0.002)}{0.0021} * 100\%$$
$$: 3.5 \%$$

Translasi terbesar arah sumbu z terjadi pada node dengan ID 213.

– Tegangan Normal

Tegangan Normal X

Pada arah sumbu-x akan terjadi gaya normal sebesar $23,58 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

NASTRAN memberikan respon struktur sebesar $34,36 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Tegangan normal maskimal terjadi pada node ID 20.

Tegangan Normal Y

Tegangan normal arah sumbu-y didapatkan sebesar $47,17 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Sedangkan dari hasil NASTRAN diperoleh tegangan normal sebesar $45,62 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Yang terjadi pada node ID 563.

– Tegangan Geser

Tegangan geser dari perhitungan didapatkan sebesar $15,79 \text{ N/mm}^2$, sedangkan dari hasil NASTRAN didapatkan tegangan geser sebesar $19,33 \text{ N/mm}^2$. Tegangan geser terbesar terjadi pada node ID 562.

Setelah diketahui nilai-nilai tegangan berdasarkan perhitungan secara teoritis dan membandingkannya dengan hasil respon struktur dari output NASTRAN. Selanjutnya hasil tersebut perlu dilihat dari batasan tegangan yang diijinkan untuk satu material tertentu.

Dari limit stress diketahui bahwa material HSS mempunyai batas tegangan sebesar :

Tension stress limit : $1.48 \cdot 10^3$ MPa

Compression stress : $1.65 \cdot 10^3$ MPa

Shear stress : $1.07 \cdot 10^3$ MPa

Tegangan yang terjadi jika dibandingkan dengan batas tegangan masih jauh dibawahnya, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak akan terjadi over stress pada node/elemen yang mempunyai nilai tegangan maksimal akibat beban yang bekerja.

Meninjau keberadaan Ball Valve di ujung PLEM

Pada proses pembuatan model NASTRAN menjadi sebuah struktur silinder seperti model A-1 perlu diberikan constraint untuk memberikan batasan kepada struktur. *Constraint* pada model A-1 diberikan dalam bentuk 6 D.O.F (*degrees of freedom*) atau bentuk tumpuan jepit. Tumpuan diberikan pada titik-titik tertentu mengelilingi PLEM. Selain itu perlu diberikan *constraint* di ujung PLEM. Pemberian *constraint* ini bertujuan untuk menahan tekanan baik dari dalam maupun luar. NASTRAN tidak dapat melakukan proses analisa apabila di ujung PLEM ini tidak diberikan *constraint*. Dari *constraint* inilah dapat dilihat fungsinya sebagai *ball valve* untuk menahan bila terjadi tekanan berlebih.

2. *Analisa Model B-1*

- Deformasi

Pada arah x terjadi displacement sebesar,

NASTRAN : 0.0158 mm

Teoritis : 0.0175 mm

Koreksi : $\frac{(0.175 - 0.168)}{0.175} * 100\%$

: 4.5 %

Translasi terbesar pada arah x terjadi pada node ID 282.

Pada arah y terjadi displacemen sebesar,

NASTRAN: 0.0126 mm

Teoritis : 0.0145 mm

Koreksi : $\frac{(0.0145 - 0.0138)}{0.0145} * 100\%$

: 4.8 %

Translasi ke arah y mengalami displacemen terbesar pada node ID 266.

Pada arah z terjadi displacement sebesar,

NASTRAN: 0.0018 mm

Teoritis : 0.0021 mm

Koreksi : $\frac{(0.0021 - 0.002)}{0.0021} * 100\%$

: 4.7 %

Translasi terbesar arah sumbu z terjadi pada node dengan ID 266.

- Tegangan Normal

Tegangan Normal X

Pada arah sumbu-x akan terjadi gaya normal sebesar $23,58 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

NASTRAN memberikan respon struktur sebesar $25,87 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Tegangan normal maskimal terjadi pada node ID 134.

Tegangan Normal Y

Tegangan normal arah sumbu-y didapatkan sebesar $47,17 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Sedangkan dari hasil NASTRAN diperoleh tegangan normal sebesar $45,31 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Yang terjadi pada node ID 178.

- Tegangan Geser

Tegangan geser dari perhitungan didapatkan sebesar $15,79 \text{ N/mm}^2$,

sedangkan dari hasil NASTRAN didapatkan tegangan geser sebesar

$15,86 \text{ N/mm}^2$. Tegangan geser terbesar terjadi pada node ID 130.

Setelah diketahui nilai-nilai tegangan berdasarkan perhitungan secara teoritis dan membandingkannya dengan hasil respon struktur dari output NASTRAN. Selanjutnya hasil tersebut perlu dilihat dari batasan tegangan yang diijinkan untuk suatu material tertentu.

Dari material properties diketahui bahwa material HSS mempunyai limit tegangan sebesar :

Tension stress : $1,48 \cdot 10^3 \text{ MPa}$

Compression : $1.65 \cdot 10^3$ MPa

Shear : $1.07 \cdot 10^3$ MPa

Tegangan yang terjadi jika dibandingkan dengan batas tegangan masih jauh di bawah batas tegangan, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak akan terjadi over stress pada node atau elemen yang mempunyai nilai tegangan terbesar akibat beban yang bekerja. Perbedaan respon struktur antara model A-1 dengan B-1 sangatlah kecil, hanya saja pada model B-1 terdapat konsentrasi tegangan pada daerah sambungan antara inlet pipe dengan pipa utama.



BAB VI



Kesimpulan Dan Paran

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Tekanan yang bekerja pada PLEM adalah sebesar 280 psi untuk internal pressure dan 82 psi untuk eksternal pressure. Analisa ulang yang dilakukan dengan NASTRAN dibuat dalam dua model untuk fungsi beban yang berbeda. dari model A-1 untuk beban tekanan internal dan eksternal didapatkan nilai deformasi sebesar 0.0168 mm pada arah sumbu-x, 0.0138 mm pada arah sumbu y, dan 0.002 mm pada arah sumbu z. Daerah dengan nilai deformasi terbesar terjadi pada node 205 atau tepatnya di daerah permukaan atas pada posisi 4933 mm arah sumbu-x. Tegangan geser terbesar untuk model ini terjadi pada elemen 562 atau pada permukaan atas dari model sebesar 14.33 N/mm. Untuk model B-1 nilai deformasi terbesar adalah 0.0158 mm arah sumbu x, 0.0126 mm arah sumbu y, dan 0.0018 mm arah sumbu z. Daerah dengan deformasi terbesar terjadi pada node ID 266 atau pada daerah *elbow inlet pipe*. Tegangan geser terbesar dengan nilai $3,476 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ terjadi pada elemen 179 atau tepatnya di daerah sambungan antara *inlet pipe* kedua dengan pipa utama. Selain itu tegangan geser terbesar juga terjadi pada permukaan atas sambungan antara *inlet pipe* pertama dengan pipa utama. Daerah sambungan antara *inlet pipe* dengan pipa utama merupakan tempat dengan konsentrasi tegangan terbesar, baik untuk tegangan normal, tegangan geser maupun tegangan von mises. hal ini sesuai dengan kerusakan yang terjadi

sebelumnya dimana kerusakan terjadi pada daerah sambungan antara inlet pipe dan pipa utama.

Selain meninjau distribusi tegangan, analisa ulang ini juga dapat mengetahui alasan pemasangan *ball valve* di ujung PLEM. Dari proses analisa diketahui bahwa, untuk pemodelan tekanan yang menyebar ke seluruh arah perlu dipasang *fixed constraint* pada ujung PLEM. *Fixed constraint* ini bisa difungsikan dengan *ball valve*.

6.2. Saran

Setelah mengetahui respon PLEM melalui software MSC-NASTRAN, bisa diberikan rekomendasi lebih lanjut pada proses pembuatan ulang PLEM Pertamina bahwa daerah yang menjadi perhatian serius adalah pada sambungan antara inlet pipe dan pipa utama. Perhatian tersebut tentunya tidak saja perlu diberikan pada saat proses fabrikasi, tetapi juga pada saat perawatan. Untuk menghindari benturan antara fleksible riser dengan *ball valve* seperti yang pernah terjadi sebelumnya perlu dipasang struktur pelindung yang menutup seluruh permukaan PLEM.

Selain itu, dalam proses analisa ulang ini masih terdapat asumsi-asumsi sebagai batasan masalah. Asumsi diberikan untuk menyederhanakan persoalan yang terjadi di lapangan. Untuk hasil yang lebih baik, perlu kiranya untuk mengeliminasi batasan masalah tersebut sehingga hasil analisa sesuai dengan kenyataan di lapangan. Seperti misalnya kondisi aliran fluida yang dimodelkan dengan aliran yang menyebar ke seluruh arah. Kondisi sebenarnya adalah dengan

memodelkan PLEM dengan aliran yang sejajar dengan sumbu- x , dan aliran mengalir secara kontinue menuju ke arah *onshore*. Karena dengan memodelkan aliran fluida yang bergerak sejajar dengan sumbu- x , maka kemungkinan untuk tidak memasang ball valve di ujung PLEM bisa dilakukan.



Daftar Pustaka

٥٠٣

DAFTAR PUSTAKA

- Cook, Robert D.1981.**Concept And Applications Of Finite Element Analysis.**John Wiley&Sons Inc.
- Donnell, Lloyd Hamilton.1976.**Beam, Plates and Shells.**McGraw-Hill,Inc.USA.
- DnV.1981.**Rules For Submarine Pipeline System.**Det Norske Veritas. Oslo
- Microsoft Corporation.1995.**MSC-NASTRAN for Windows Installation and Application Manual, Ver 2nd.**MacNeal-Schwendler Corporation.
- Mousselli.A.H.1981.**Offshore Pipeline Design Analysis and Methode.** PennWellPublishing.Oklahoma
- PERTAMINA.1999.**Uraian dan Syarat-Syarat Kerja Perbaikan Fasilitas Single-Point Mooring.**PERTAMINA UP-IV.Cilacap
- Popov, E.P.1987.**Mechanic of Material.**Prentice-Hall,Englewood Cliff.New Jersey.USA.
- Riley, Williams F.1999.**Mechanics of Material.**John Wiley & Sons,Inc.New York.USA.
- Stevens, Karl K.1987.**Statics and Strength of Materials.**Prentice-Hall,Inc.Englewood Cliffs, New Jersey.
- Timoshenko,S.and Woinowsky-Kreiger,S.1970.**Theory of Plate and Shells.**McGraw-Hill Book,Inc.
- Wang, Chu-Kia.1962.**Statically Indeterminate Structure.** McGraw-Hill.Inc.



Lampiran

၃.၆

Output Set 2 - MSC/NASTRAN Case 1

From = MSC/NASTRAN Analysis Type = Static Value = 0.

Notes:

From: E:\95-016\MODEL A-1:NASTRAN\A-1000.op2

Date : Sun Jul 02 21:03:48 2000

MULTIPLE LOAD

MULTIPLE LOAD EKSTERNAL AND INTERNAL PRESSURE

SUBCASE 1

Output Vector 1 - Total Translation (Model Vector 289)

| | | |
|---------------------|--------------------|---|
| Maximum | Node ID = 205 | Value = 0.00175695 |
| Minimum | Node ID = 1 | Value = 0. |
| Type = Displacement | | Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 0 | 2 - T1 Translation | |
| Component 1 | 3 - T2 Translation | |
| Component 2 | 4 - T3 Translation | |

Output Vector 2 - T1 Translation (Model Vector 169)

| | | |
|---------------------|--------------------|---|
| Maximum | Node ID = 273 | Value = 0.00168328 |
| Minimum | Node ID = 360 | Value = -0.0146 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 0 | 2 - T1 Translation | |

Output Vector 3 - T2 Translation (Model Vector 170)

| | | |
|---------------------|--------------------|---|
| Maximum | Node ID = 205 | Value = 0.0138237 |
| Minimum | Node ID = 221 | Value = -0.008237 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 1 | 3 - T2 Translation | |

Output Vector 4 - T3 Translation (Model Vector 171)

| | | |
|---------------------|--------------------|---|
| Maximum | Node ID = 213 | Value = 0.002356 |
| Minimum | Node ID = 205 | Value = -0.01528 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 2 | 4 - T3 Translation | |

Output Vector 5 - Total Rotation (Model Vector 290)

| | | |
|---------------------|-----------------|---|
| Maximum | Node ID = 426 | Value = 0.00327695 |
| Minimum | Node ID = 1 | Value = 0. |
| Type = Displacement | | Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 0 | 6 - R1 Rotation | |
| Component 1 | 7 - R2 Rotation | |
| Component 2 | 8 - R3 Rotation | |

Output Vector 6 - R1 Rotation (Model Vector 172)

| | | |
|---------------------|-----------------|---|
| Maximum | Node ID = 221 | Value = 0.003166 |
| Minimum | Node ID = 205 | Value = -0.003185 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 0 | 6 - R1 Rotation | |

Output Vector 7 - R2 Rotation (Model Vector 173)

| | | |
|---------------------|-----------------|---|
| Maximum | Node ID = 103 | Value = 0.000846 |
| Minimum | Node ID = 358 | Value = -0.00226 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 1 | 7 - R2 Rotation | |

Output Vector 8 - R3 Rotation (Model Vector 174)

| | | |
|---------------------|-----------------|---|
| Maximum | Node ID = 507 | Value = 0.0002274 |
| Minimum | Node ID = 497 | Value = -0.0002412 |
| Type = Displacement | | Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 2 | 8 - R3 Rotation | |

Output Vector 41 - Total Applied Force (Model Vector 291)

| | | |
|--------------|-----------------------|---|
| Maximum | Node ID = 20 | Value = 34361.5 |
| Minimum | Node ID = 613 | Value = 95.338 |
| Type = Force | | Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y |
| Component 0 | 42 - T1 Applied Force | |
| Component 1 | 43 - T2 Applied Force | |
| Component 2 | 44 - T3 Applied Force | |

LAMPIRAN

```

Output Vector 42 - T1 Applied Force          (Model Vector 283)
Maximum      Node ID = 20      Value = 2.09814E-12
Minimum      Node ID = 376     Value = -2860.16
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0      42 - T1 Applied Force

Output Vector 43 - T2 Applied Force          (Model Vector 284)
Maximum      Node ID = 22      Value = 34361.4
Minimum      Node ID = 30      Value = -34361.4
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 1      43 - T2 Applied Force

Output Vector 44 - T3 Applied Force          (Model Vector 285)
Maximum      Node ID = 26      Value = 34361.4
Minimum      Node ID = 19      Value = -31745.8
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 2      44 - T3 Applied Force

Output Vector 45 - Total Applied Moment      (Model Vector 292)
Maximum      Node ID = 1      Value = 0.
Minimum      Node ID = 1      Value = 0.
Type = Force                               Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0      46 - R1 Applied Moment
Component 1      47 - R2 Applied Moment
Component 2      48 - R3 Applied Moment

Output Vector 46 - R1 Applied Moment          (Model Vector 296)
Maximum      Node ID = 1      Value = 0.
Minimum      Node ID = 1      Value = 0.
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0      46 - R1 Applied Moment

Output Vector 47 - R2 Applied Moment          (Model Vector 287)
Maximum      Node ID = 1      Value = 0.
Minimum      Node ID = 1      Value = 0.
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 1      47 - R2 Applied Moment

Output Vector 49 - R3 Applied Moment          (Model Vector 288)
Maximum      Node ID = 1      Value = 0.
Minimum      Node ID = 1      Value = 0.
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 2      48 - R3 Applied Moment

Output Vector 51 - Total Constraint Force     (Model Vector 293)
Maximum      Node ID = 86      Value = 1979328.
Minimum      Node ID = 17      Value = 0.
Type = Force                               Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0      52 - T1 Constraint Force
Component 1      53 - T2 Constraint Force
Component 2      54 - T3 Constraint Force

Output Vector 52 - T1 Constraint Force        (Model Vector 163)
Maximum      Node ID = 86      Value = 1877947.
Minimum      Node ID = 324     Value = -1877947.
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0      52 - T1 Constraint Force

Output Vector 53 - T2 Constraint Force        (Model Vector 164)
Maximum      Node ID = 102     Value = 619279.
Minimum      Node ID = 86      Value = -619279.
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 1      53 - T2 Constraint Force

Output Vector 54 - T3 Constraint Force        (Model Vector 165)
Maximum      Node ID = 87      Value = 100245.
Minimum      Node ID = 86      Value = -86861.8
Type = Force                               Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 2      54 - T3 Constraint Force
    
```

Output Vector 55 - Total Constraint Moment (Model Vector 294)
Maximum Node ID = 16 Value = 4667113.
Minimum Node ID = 17 Value = 0.
Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0 56 - R1 Constraint Moment
Component 1 57 - R2 Constraint Moment
Component 2 58 - R3 Constraint Moment

Output Vector 56 - R1 Constraint Moment (Model Vector 166)
Maximum Node ID = 88 Value = 1455854.
Minimum Node ID = 16 Value = -2909682.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 0 56 - R1 Constraint Moment

Output Vector 57 - R2 Constraint Moment (Model Vector 167)
Maximum Node ID = 324 Value = 2844132.
Minimum Node ID = 16 Value = -3242641.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 1 57 - R2 Constraint Moment

Output Vector 58 - R3 Constraint Moment (Model Vector 168)
Maximum Node ID = 16 Value = 1673611.
Minimum Node ID = 84 Value = -1459370.
Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
Component 2 58 - R3 Constraint Moment

Output Vector 6043 - Plate Top Fiber (Model Vector 222)
Maximum Element ID = 561 Value = 9.5
Minimum Element ID = 561 Value = 9.5
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 1 150007 - PltC1 Top Fiber
Component 2 200007 - PltC2 Top Fiber
Component 3 250007 - PltC3 Top Fiber

Output Vector 6044 - Plate Bottom Fiber (Model Vector 215)
Maximum Element ID = 561 Value = -9.5
Minimum Element ID = 561 Value = -9.5
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 1 150008 - PltC1 Bottom Fiber
Component 2 200008 - PltC2 Bottom Fiber
Component 3 250008 - PltC3 Bottom Fiber

Output Vector 7020 - Plate Top X Normal Stress (Model Vector 223)
Maximum Element ID = 568 Value = 3456.21
Minimum Element ID = 561 Value = 126.539
Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100220 - PltC1 Top X Normal Stress
Component 1 150220 - PltC2 Top X Normal Stress
Component 2 200220 - PltC3 Top X Normal Stress
Component 3 250220 - PltC4 Top X Normal Stress

Output Vector 7021 - Plate Top Y Normal Stress (Model Vector 224)
Maximum Element ID = 563 Value = 4562.91
Minimum Element ID = 568 Value = 1478.29
Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100221 - PltC1 Top Y Normal Stress
Component 1 150221 - PltC2 Top Y Normal Stress
Component 2 200221 - PltC3 Top Y Normal Stress
Component 3 250221 - PltC4 Top Y Normal Stress

Output Vector 7023 - Plate Top XY Shear Stress (Model Vector 225)
Maximum Element ID = 576 Value = 1306.33
Minimum Element ID = 561 Value = -1306.33
Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100223 - PltC1 Top XY Shear Stress
Component 1 150223 - PltC2 Top XY Shear Stress
Component 2 200223 - PltC3 Top XY Shear Stress
Component 3 250223 - PltC4 Top XY Shear Stress

Output Vector 7026 - Plate Top MajorPrn Stress (Model Vector 227)

Maximum Element ID = 564 Value = 4672.61
Minimum Element ID = 561 Value = 3048.96
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100226 - PltC1 Top MajorPrn Stress
Component 1 150226 - PltC2 Top MajorPrn Stress
Component 2 200226 - PltC3 Top MajorPrn Stress
Component 3 250226 - PltC4 Top MajorPrn Stress

Output Vector 7027 - Plate Top MinorPrn Stress (Model Vector 228)

Maximum Element ID = 565 Value = 2030.87
Minimum Element ID = 561 Value = -457.393
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100227 - PltC1 Top MinorPrn Stress
Component 1 150227 - PltC2 Top MinorPrn Stress
Component 2 200227 - PltC3 Top MinorPrn Stress
Component 3 250227 - PltC4 Top MinorPrn Stress

Output Vector 7029 - Plate Top PrnStress Angle (Model Vector 226)

Maximum Element ID = 574 Value = 87.6535
Minimum Element ID = 563 Value = -87.6535
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100229 - PltC1 Top PrnStress Angle
Component 1 150229 - PltC2 Top PrnStress Angle
Component 2 200229 - PltC3 Top PrnStress Angle
Component 3 250229 - PltC4 Top PrnStress Angle

Output Vector 7030 - Plate Top Mean Stress (Model Vector 295)

Maximum Element ID = 565 Value = 3232.9
Minimum Element ID = 184 Value = -129.811
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100230 - PltC1 Top Mean Stress
Component 1 150230 - PltC2 Top Mean Stress
Component 2 200230 - PltC3 Top Mean Stress
Component 3 250230 - PltC4 Top Mean Stress

Output Vector 7031 - Plate Top MaxShear Stress (Model Vector 296)

Maximum Element ID = 562 Value = 1933.32
Minimum Element ID = 65 Value = 0.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100231 - PltC1 Top MxShear Stress
Component 1 150231 - PltC2 Top MxShear Stress
Component 2 200231 - PltC3 Top MxShear Stress
Component 3 250231 - PltC4 Top MxShear Stress

Output Vector 7033 - Plate Top VonMises Stress (Model Vector 297)


Maximum Element ID = 563 Value = 4123.66
Minimum Element ID = 65 Value = 0.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100233 - PltC1 Top VnMises Stress
Component 1 150233 - PltC2 Top VnMises Stress
Component 2 200233 - PltC3 Top VnMises Stress
Component 3 250233 - PltC4 Top VnMises Stress

Output Vector 7206 - Plate X Membrane Force (Model Vector 175)

Maximum Element ID = 82 Value = 675.498
Minimum Element ID = 81 Value = -1369.48
Type = Force Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100406 - PltC1 X Membrane Force
Component 1 150406 - PltC2 X Membrane Force
Component 2 200406 - PltC3 X Membrane Force
Component 3 250406 - PltC4 X Membrane Force

Output Vector 7207 - Plate Y Membrane Force (Model Vector 176)

Maximum Element ID = 82 Value = 5103.18
Minimum Element ID = 81 Value = -8260.62
Type = Force Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100407 - PltC1 Y Membrane Force
Component 1 150407 - PltC2 Y Membrane Force
Component 2 200407 - PltC3 Y Membrane Force
Component 3 250407 - PltC4 Y Membrane Force



Output Vector 43 - T2 Applied Force (Model Vector 1101)
 Maximum Node ID = 81 Value = 31672.8
 Minimum Node ID = 153 Value = -33533.4
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 1 43 - T2 Applied Force

Output Vector 44 - T3 Applied Force (Model Vector 1102)
 Maximum Node ID = 190 Value = 6428.61
 Minimum Node ID = 41 Value = -36137.9
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 2 44 - T3 Applied Force

Output Vector 45 - Total Applied Moment (Model Vector 1109)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 46 - R1 Applied Moment
 Component 1 47 - R2 Applied Moment
 Component 2 48 - R3 Applied Moment

Output Vector 46 - R1 Applied Moment (Model Vector 1103)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 46 - R1 Applied Moment

Output Vector 47 - R2 Applied Moment (Model Vector 1104)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 1 47 - R2 Applied Moment

Output Vector 48 - R3 Applied Moment (Model Vector 1105)
 Maximum Node ID = 1 Value = 0.
 Minimum Node ID = 1 Value = 0.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 2 48 - R3 Applied Moment

Output Vector 51 - Total Constraint Force (Model Vector 1110)
 Maximum Node ID = 134 Value = 3946072.
 Minimum Node ID = 3 Value = 0.
 Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 52 - T1 Constraint Force
 Component 1 53 - T2 Constraint Force
 Component 2 54 - T3 Constraint Force

Output Vector 52 - T1 Constraint Force (Model Vector 980)
 Maximum Node ID = 134 Value = 3773021.
 Minimum Node ID = 74 Value = -3057170.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 52 - T1 Constraint Force

Output Vector 53 - T2 Constraint Force (Model Vector 981)
 Maximum Node ID = 62 Value = 322441.
 Minimum Node ID = 81 Value = -412990.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 1 53 - T2 Constraint Force

Output Vector 54 - T3 Constraint Force (Model Vector 982)
 Maximum Node ID = 134 Value = 1145766.
 Minimum Node ID = 135 Value = -529753.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 2 54 - T3 Constraint Force

Output Vector 55 - Total Constraint Moment (Model Vector 1111)
 Maximum Node ID = 88 Value = 21527381.
 Minimum Node ID = 3 Value = 0.
 Type = Force Calc = Y Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 56 - R1 Constraint Moment
 Component 1 57 - R2 Constraint Moment
 Component 2 58 - R3 Constraint Moment

Output Vector 56 - R1 Constraint Moment (Model Vector 983)
 Maximum Node ID = 2 Value = 7252979.
 Minimum Node ID = 62 Value = -5444344.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 0 56 - R1 Constraint Moment

Output Vector 57 - R2 Constraint Moment (Model Vector 984)
 Maximum Node ID = 88 Value = 14597008.
 Minimum Node ID = 62 Value = -6464394.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 1 57 - R2 Constraint Moment

Output Vector 58 - R3 Constraint Moment (Model Vector 985)
 Maximum Node ID = 88 Value = 15548336.
 Minimum Node ID = 137 Value = -5550595.
 Type = Force Calc = N Component Dir = Y Centroid = Y
 Component 2 58 - R3 Constraint Moment

Output Vector 6043 - Plate Top Fiber (Model Vector 1039)
 Maximum Element ID = 133 Value = 9.5
 Minimum Element ID = 133 Value = 9.5
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
 Component 1 150007 - PltC1 Top Fiber
 Component 2 200007 - PltC2 Top Fiber
 Component 3 250007 - PltC3 Top Fiber

Output Vector 6044 - Plate Bottom Fiber (Model Vector 1032)
 Maximum Element ID = 133 Value = -9.5
 Minimum Element ID = 133 Value = -9.5
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
 Component 1 150008 - PltC1 Bottom Fiber
 Component 2 200008 - PltC2 Bottom Fiber
 Component 3 250008 - PltC3 Bottom Fiber

Output Vector 7020 - Plate Top X Normal Stress (Model Vector 1040)
 Maximum Element ID = 133 Value = 3436.74
 Minimum Element ID = 134 Value = -284.17
 Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
 Component 0 100220 - PltC1 Top X Normal Stress
 Component 1 150220 - PltC2 Top X Normal Stress
 Component 2 200220 - PltC3 Top X Normal Stress
 Component 3 250220 - PltC4 Top X Normal Stress

Output Vector 7021 - Plate Top Y Normal Stress (Model Vector 1041)
 Maximum Element ID = 177 Value = 4562.756
 Minimum Element ID = 191 Value = -887.1
 Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
 Component 0 100221 - PltC1 Top Y Normal Stress
 Component 1 150221 - PltC2 Top Y Normal Stress
 Component 2 200221 - PltC3 Top Y Normal Stress
 Component 3 250221 - PltC4 Top Y Normal Stress

Output Vector 7023 - Plate Top XY Shear Stress (Model Vector 1042)
 Maximum Element ID = 191 Value = 281.665
 Minimum Element ID = 177 Value = -1041.73
 Type = Stress Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
 Component 0 100223 - PltC1 Top XY Shear Stress
 Component 1 150223 - PltC2 Top XY Shear Stress
 Component 2 200223 - PltC3 Top XY Shear Stress
 Component 3 250223 - PltC4 Top XY Shear Stress

Output Vector 7026 - Plate Top MajorPrn Stress (Model Vector 1044)
 Maximum Element ID = 133 Value = 1613.9
 Minimum Element ID = 134 Value = -1174.77
 Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
 Component 0 100226 - PltC1 Top MajorPrn Stress
 Component 1 150226 - PltC2 Top MajorPrn Stress
 Component 2 200226 - PltC3 Top MajorPrn Stress
 Component 3 250226 - PltC4 Top MajorPrn Stress

Output Vector 7027 - Plate Top MinorPrn Stress (Model Vector 1045)
Maximum Element ID = 133 Value = 378.329
Minimum Element ID = 134 Value = -1833.44
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100227 - PltC1 Top MinorPrn Stress
Component 1 150227 - PltC2 Top MinorPrn Stress
Component 2 200227 - PltC3 Top MinorPrn Stress
Component 3 250227 - PltC4 Top MinorPrn Stress

Output Vector 7029 - Plate Top PrnStress Angle (Model Vector 1043)
Maximum Element ID = 134 Value = 78.2602
Minimum Element ID = 177 Value = -64.719
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100229 - PltC1 Top PrnStress Angle
Component 1 150229 - PltC2 Top PrnStress Angle
Component 2 200229 - PltC3 Top PrnStress Angle
Component 3 250229 - PltC4 Top PrnStress Angle

Output Vector 7030 - Plate Top Mean Stress (Model Vector 1112)
Maximum Element ID = 129 Value = 1798.59
Minimum Element ID = 134 Value = -1504.1
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100230 - PltC1 Top Mean Stress
Component 1 150230 - PltC2 Top Mean Stress
Component 2 200230 - PltC3 Top Mean Stress
Component 3 250230 - PltC4 Top Mean Stress

Output Vector 7031 - Plate Top MaxShear Stress (Model Vector 1113)
Maximum Element ID = 177 Value = 1432.48
Minimum Element ID = 2 Value = 0.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100231 - PltC1 Top MxShear Stress
Component 1 150231 - PltC2 Top MxShear Stress
Component 2 200231 - PltC3 Top MxShear Stress
Component 3 250231 - PltC4 Top MxShear Stress

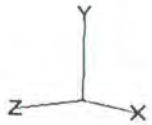
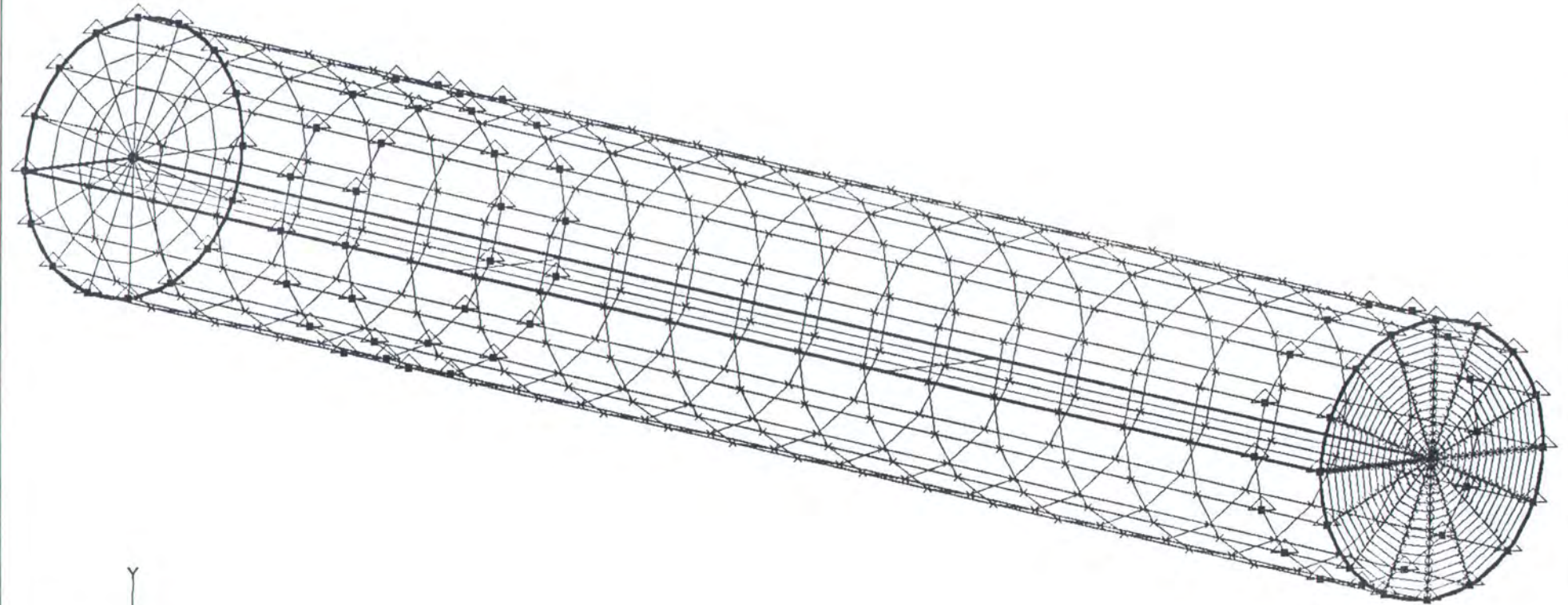
Output Vector 7033 - Plate Top VonMises Stress (Model Vector 1114)
Maximum Element ID = 130 Value = 2564.02
Minimum Element ID = 2 Value = 0.
Type = Stress Calc = Y Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100233 - PltC1 Top VnMises Stress
Component 1 150233 - PltC2 Top VnMises Stress
Component 2 200233 - PltC3 Top VnMises Stress
Component 3 250233 - PltC4 Top VnMises Stress

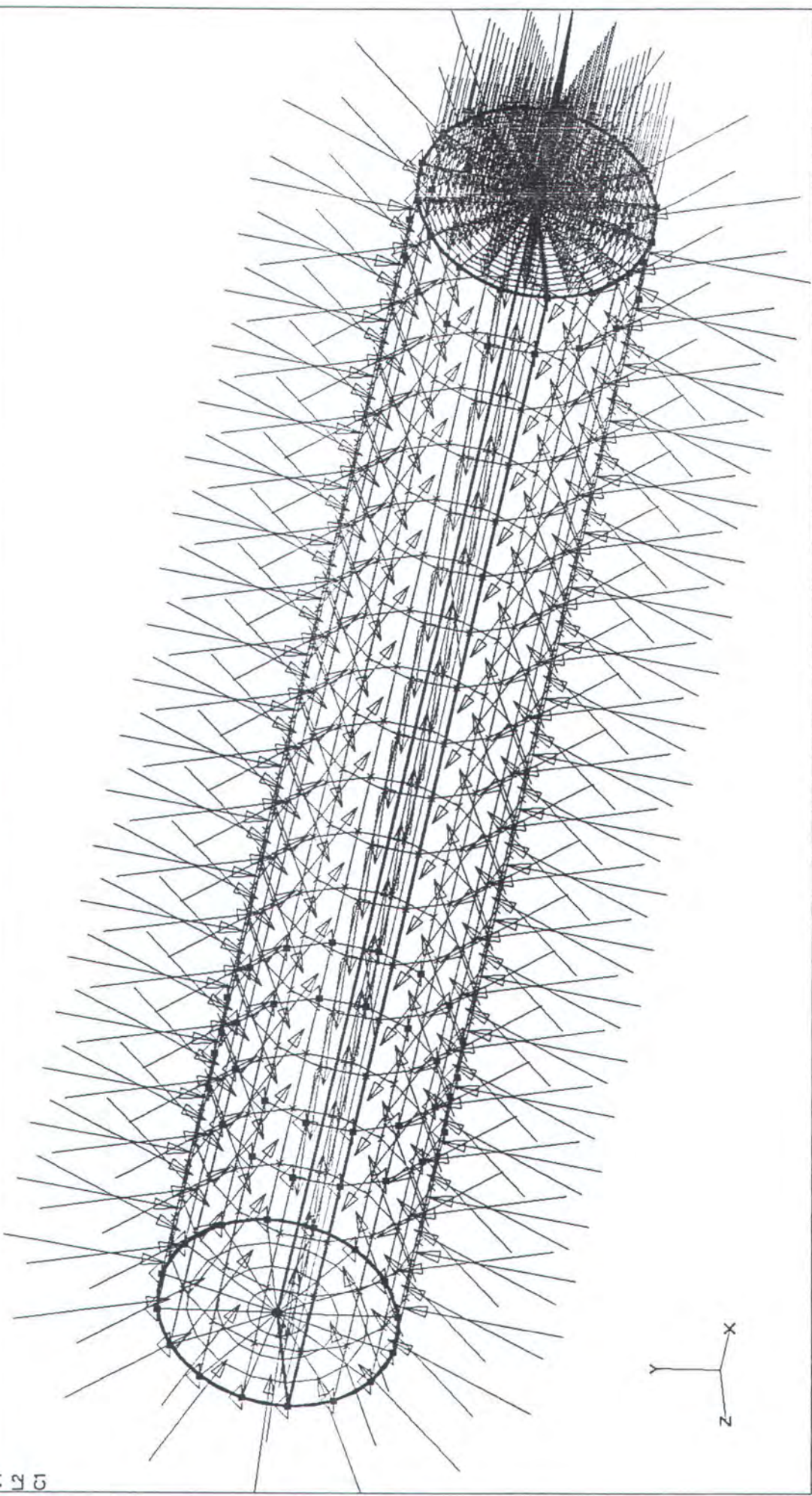
Output Vector 7206 - Plate X Membrane Force (Model Vector 992)
Maximum Element ID = 193 Value = 5682.42
Minimum Element ID = 1 Value = -9558.47
Type = Force Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100406 - PltC1 X Membrane Force
Component 1 150406 - PltC2 X Membrane Force
Component 2 200406 - PltC3 X Membrane Force
Component 3 250406 - PltC4 X Membrane Force

Output Vector 7207 - Plate Y Membrane Force (Model Vector 993)
Maximum Element ID = 113 Value = 13089.7
Minimum Element ID = 191 Value = -14424.1
Type = Force Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100407 - PltC1 Y Membrane Force
Component 1 150407 - PltC2 Y Membrane Force
Component 2 200407 - PltC3 Y Membrane Force
Component 3 250407 - PltC4 Y Membrane Force

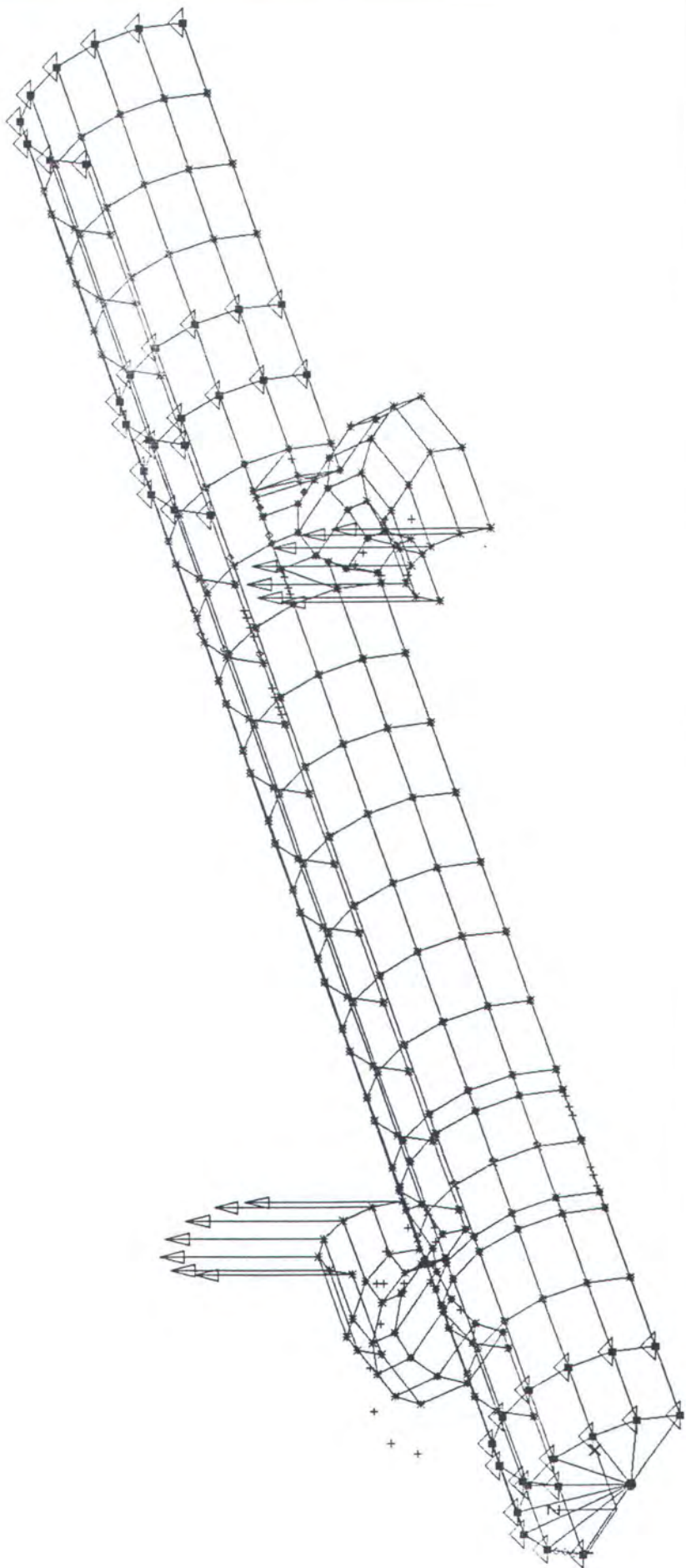
Output Vector 7208 - Plate XY Membrane Force (Model Vector 994)
Maximum Element ID = 1 Value = 5316.63
Minimum Element ID = 129 Value = -4192.76
Type = Force Calc = N Component Dir = N Centroid = Y
Component 0 100408 - PltC1 XY Membrane Force
Component 1 150408 - PltC2 XY Membrane Force
Component 2 200408 - PltC3 XY Membrane Force
Component 3 250408 - PltC4 XY Membrane Force

V1
L2
C1



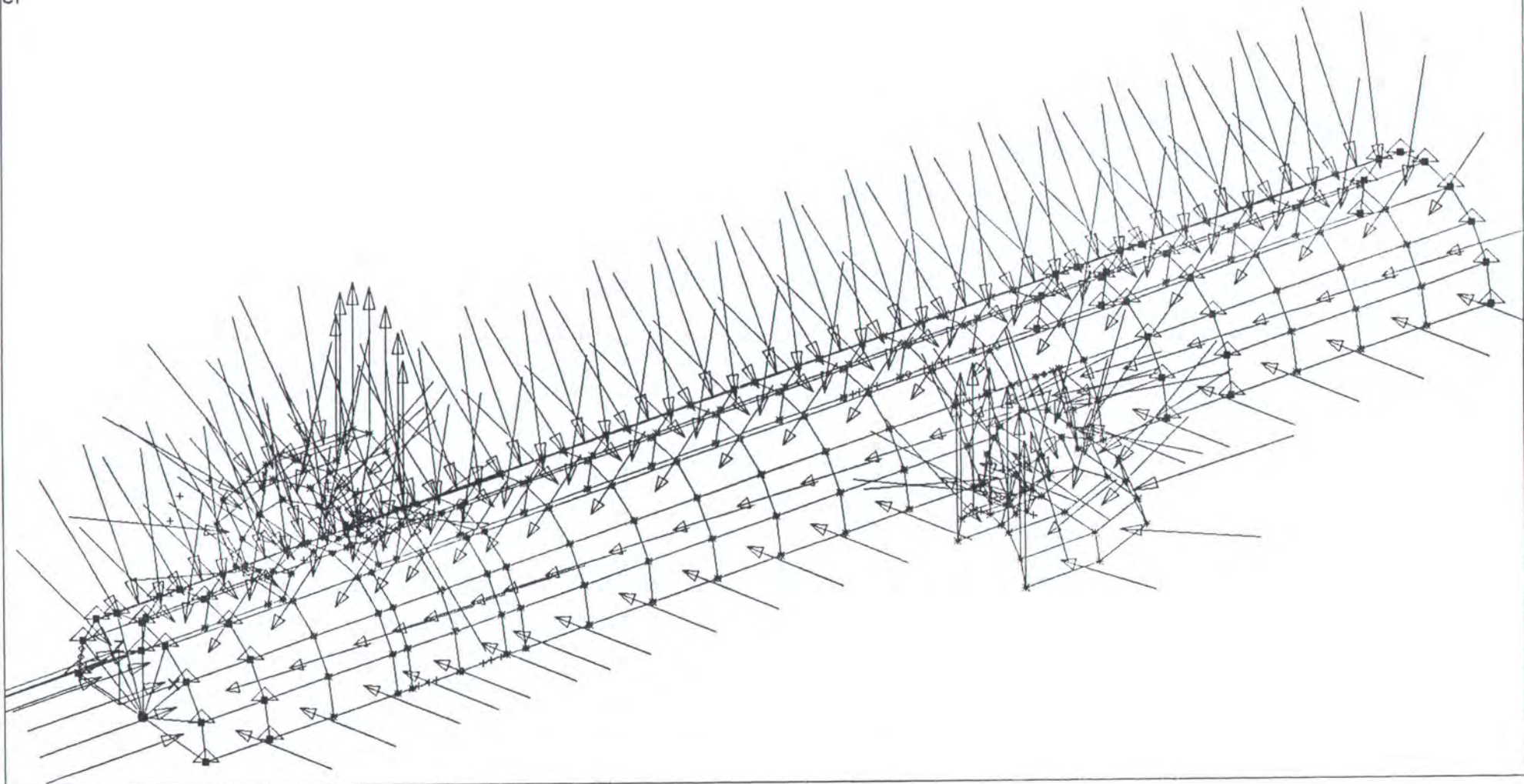


MSC/MSTRAN For Windows ... Restricted Copy - For Educational and Training Use Only

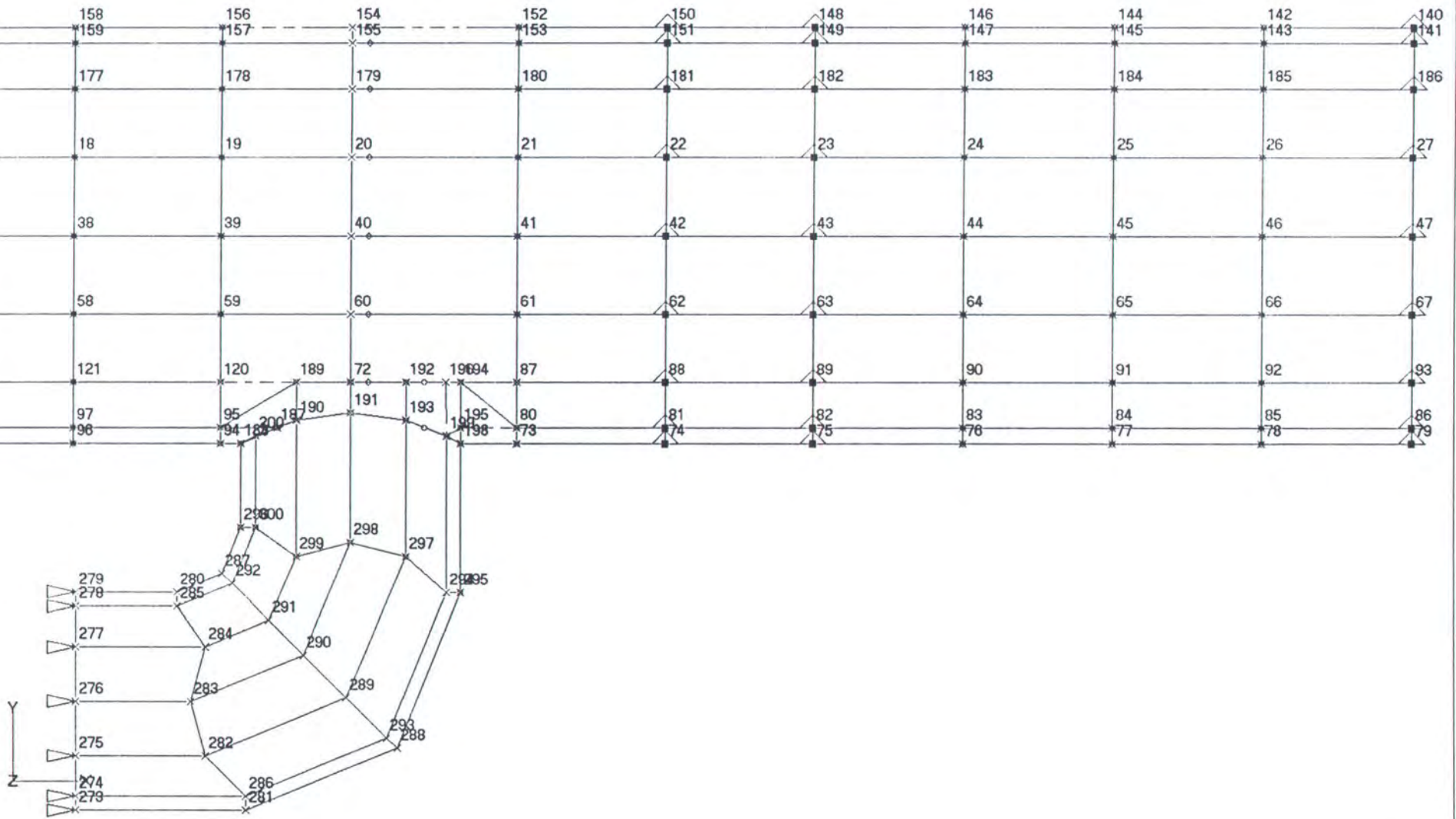


MSC/MSTRAN for Windows ... Restricted Copy - For Educational and Training Use Only

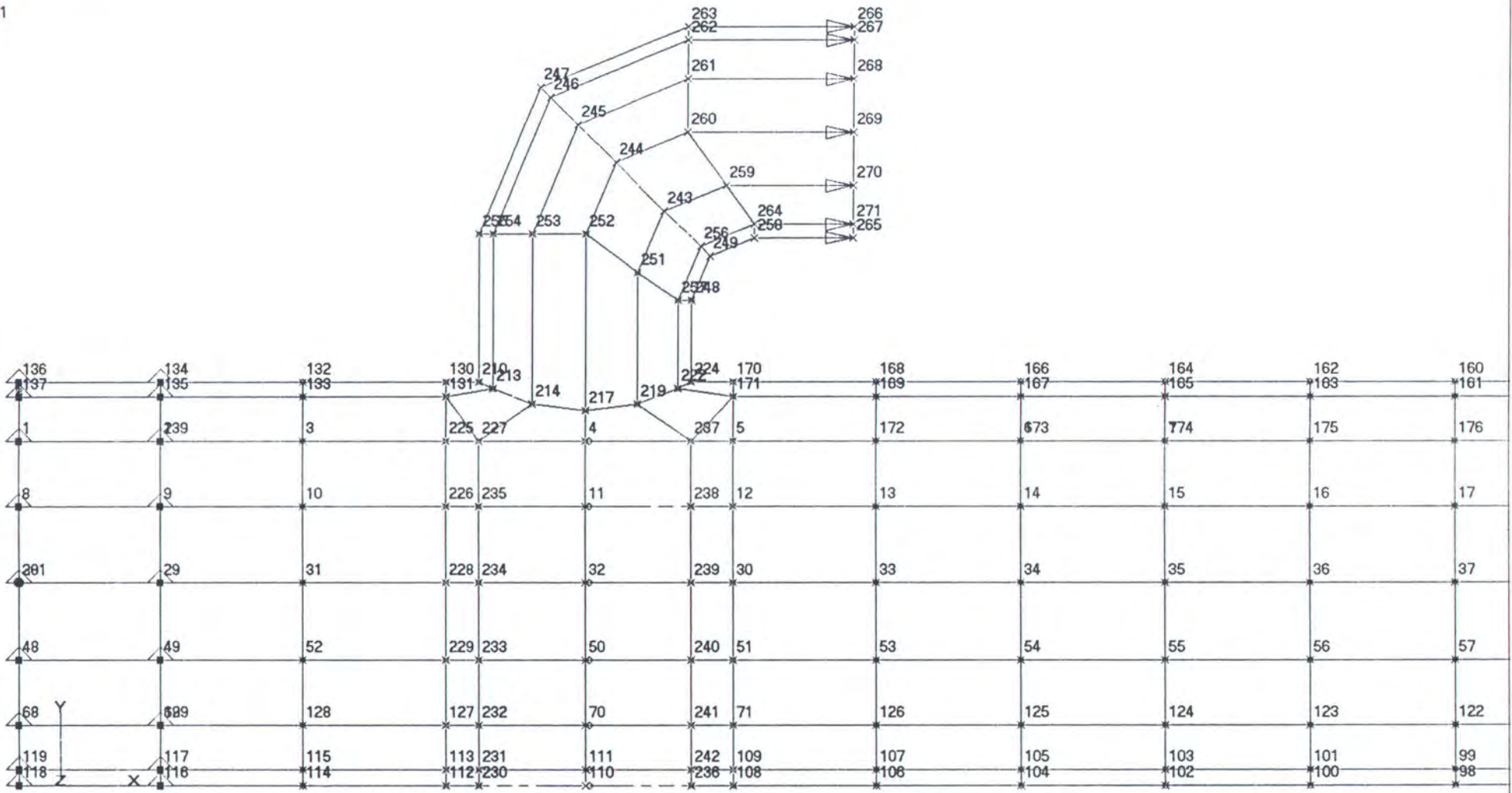
V1
L2
C1



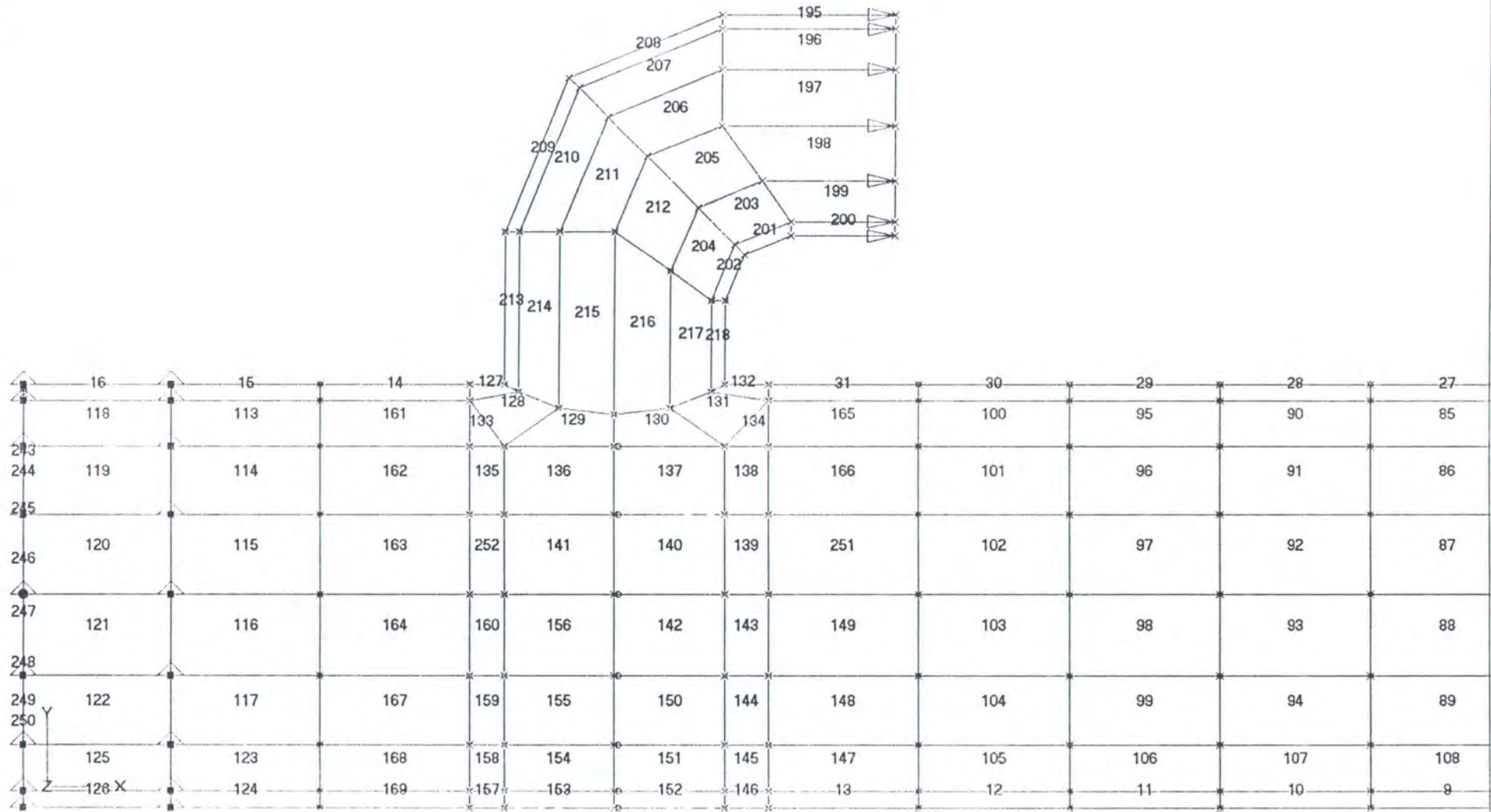
V1
2
C1



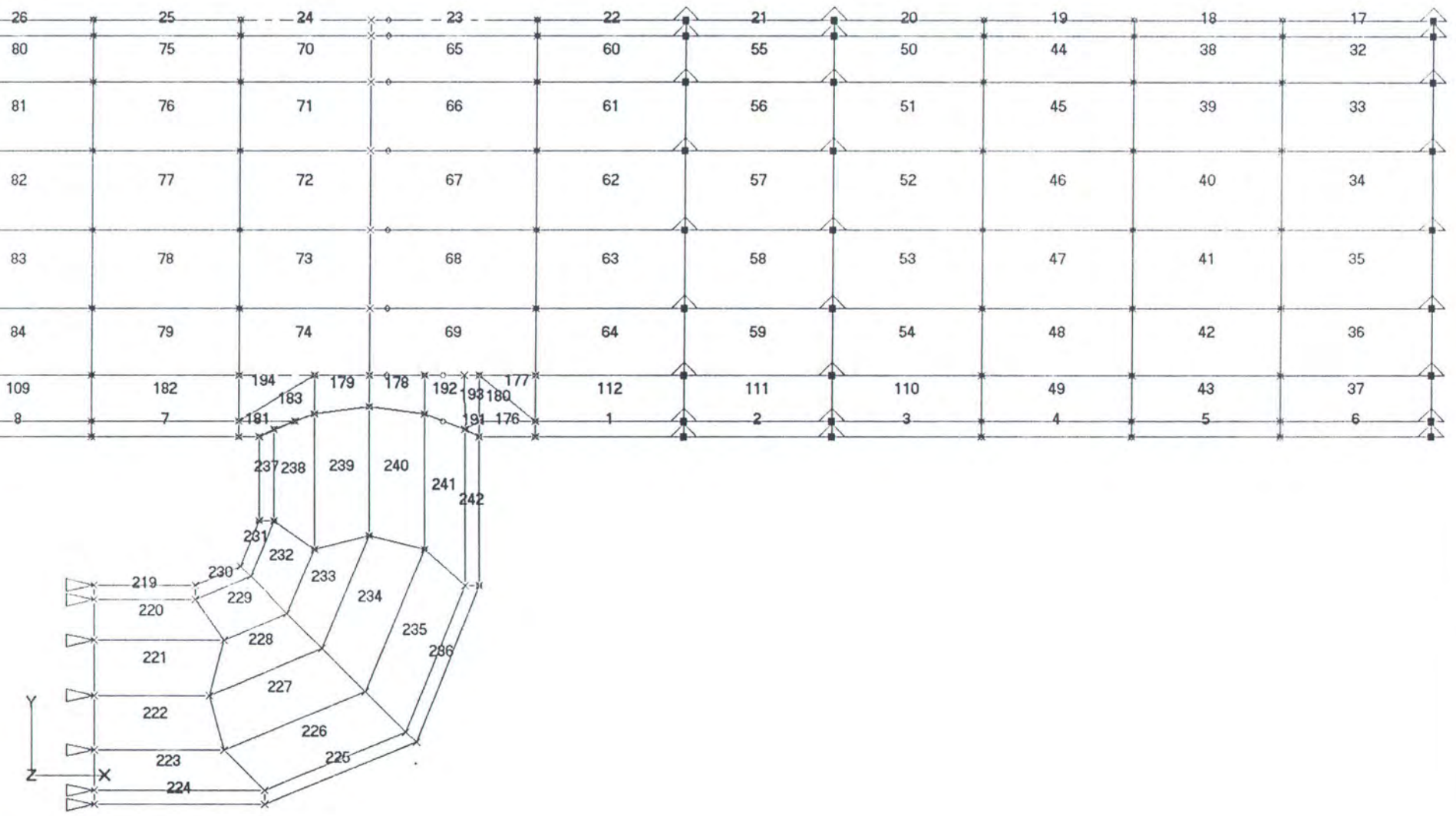
V1
L2
C1

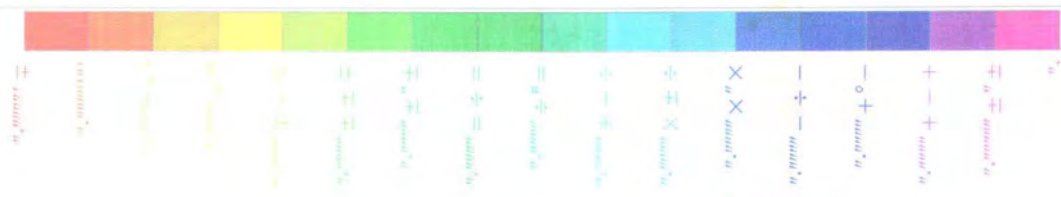
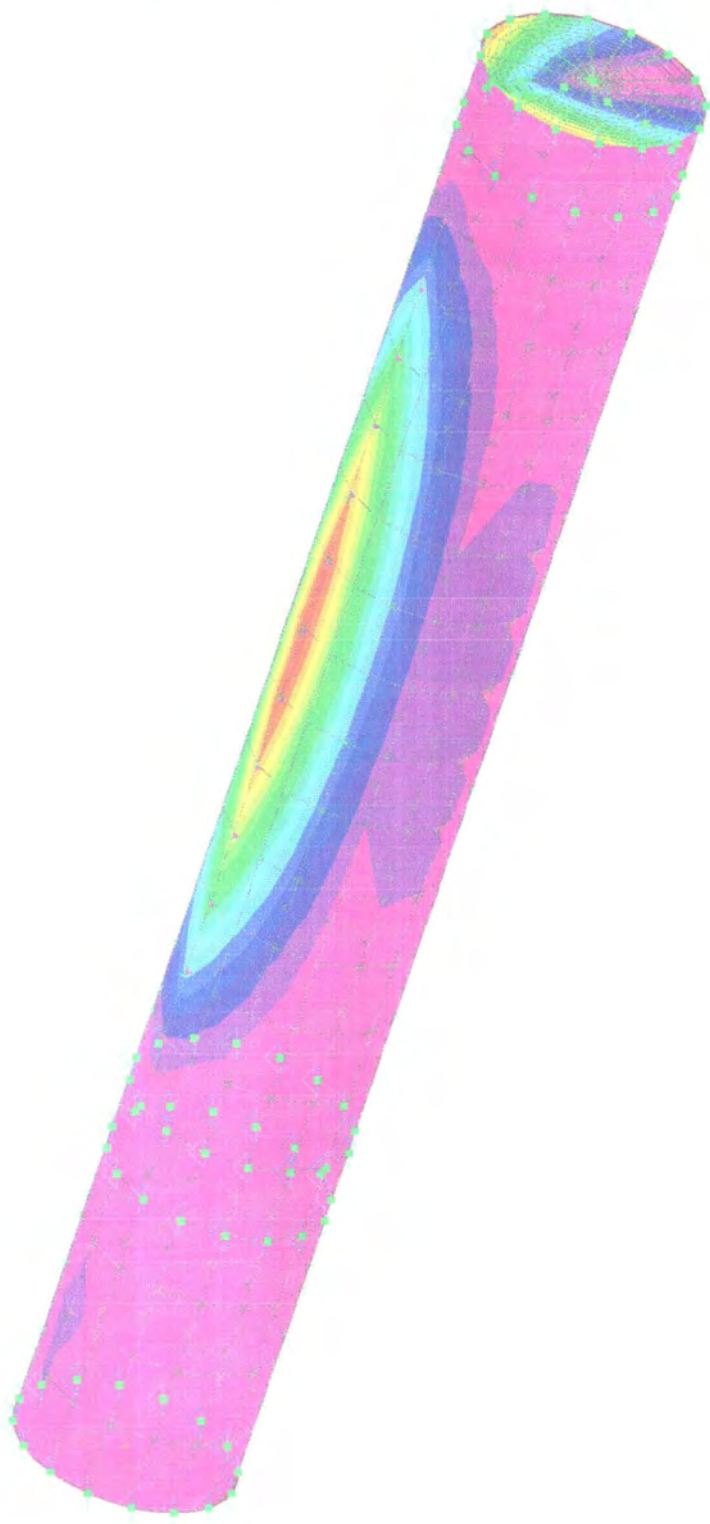


V1
L2
C1



V1
L2
C1



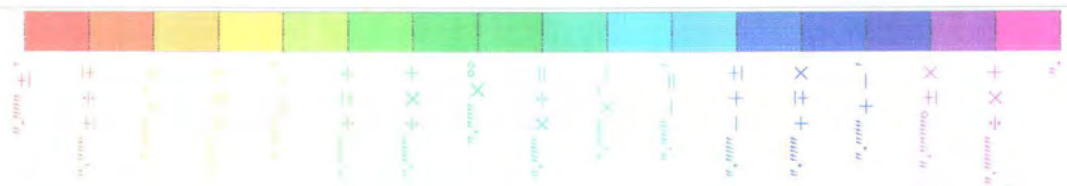
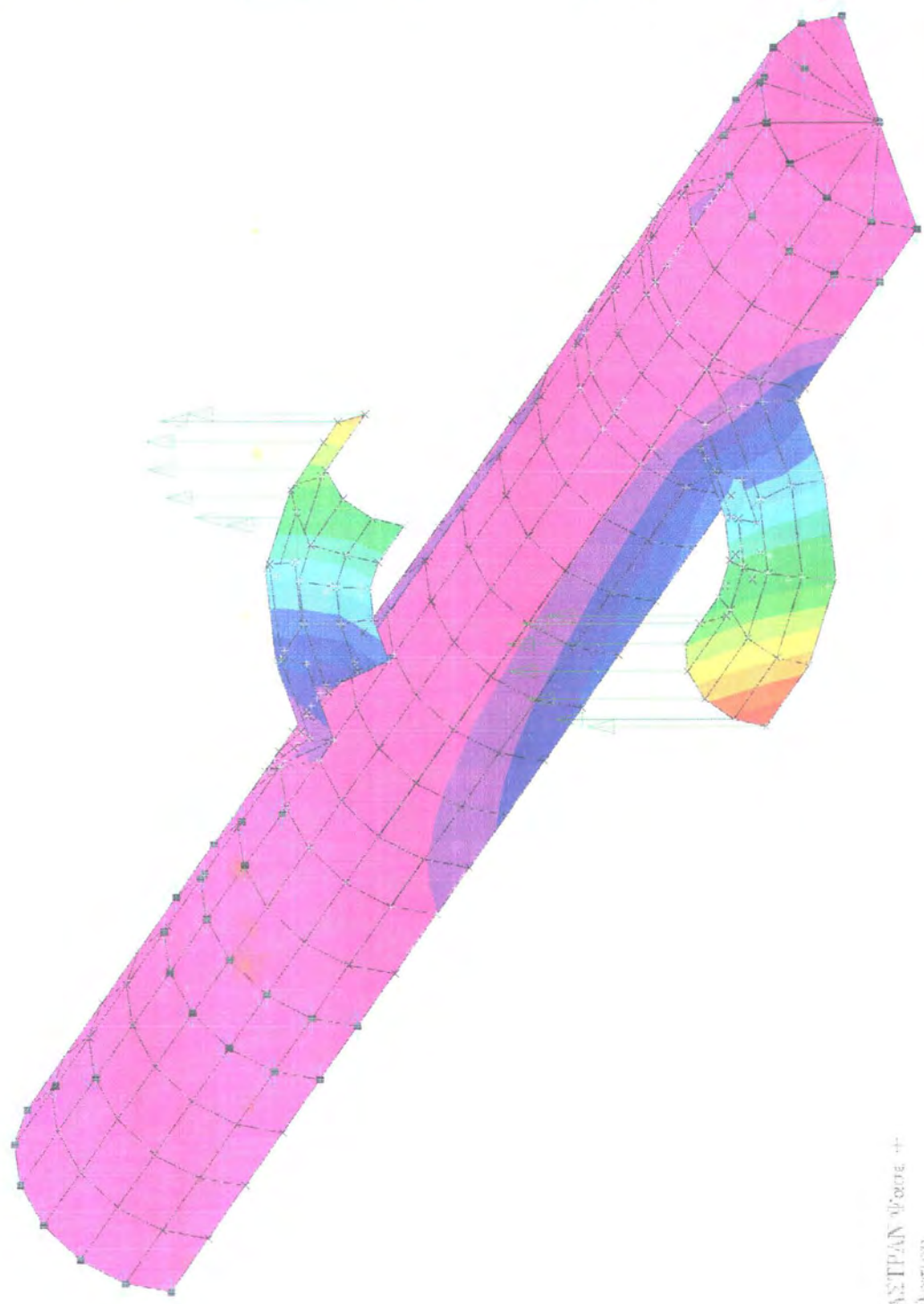


2

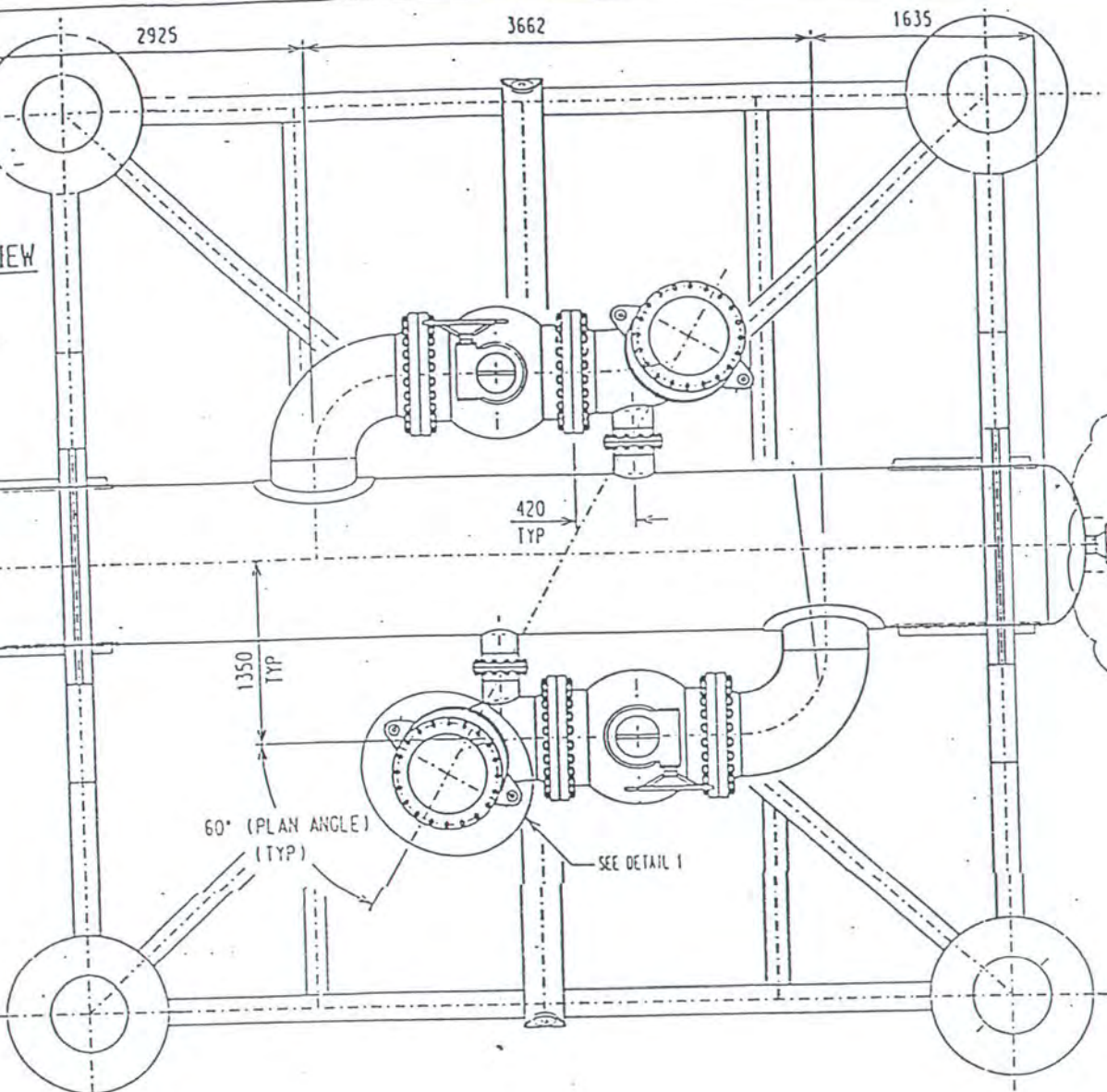
12. P
A -
ψ



Οδηγός Σειράς ΜΕ.Ψ ≥ NASTRAN ψρεα +
Ψεατοβρα Γεραλ Πρεσολοτορ



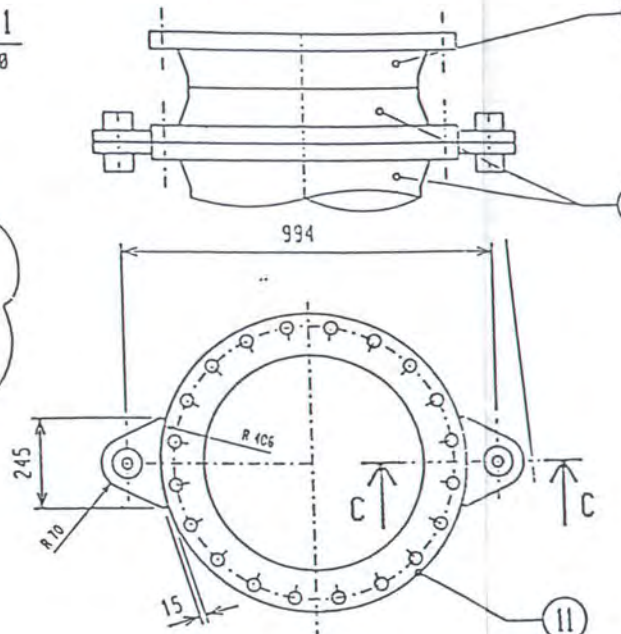
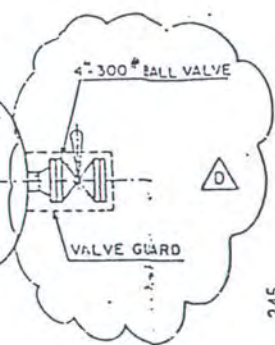
MSC/NASTRAN for Windows ... Restricted Copy - For Educational and Training Use Only



NOTES

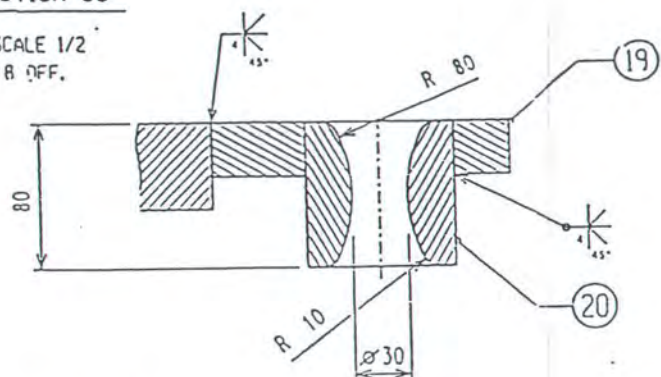
1. TORQUE OF BOLTS (CREASE MOUNTING) 197 N.m.
2. FOR MATERIAL CHARACTERISTICS, SEE: STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL STEEL MATERIAL SPECIFICATION 1232.8.0.034.5.032755
3. THIS DRAWING SHOULD BE READ IN CONJUNCTION WITH PLECH PIPING SUPPORT - 1232.1.5.112.1.032770

DETAIL 1
SCALE 1/10



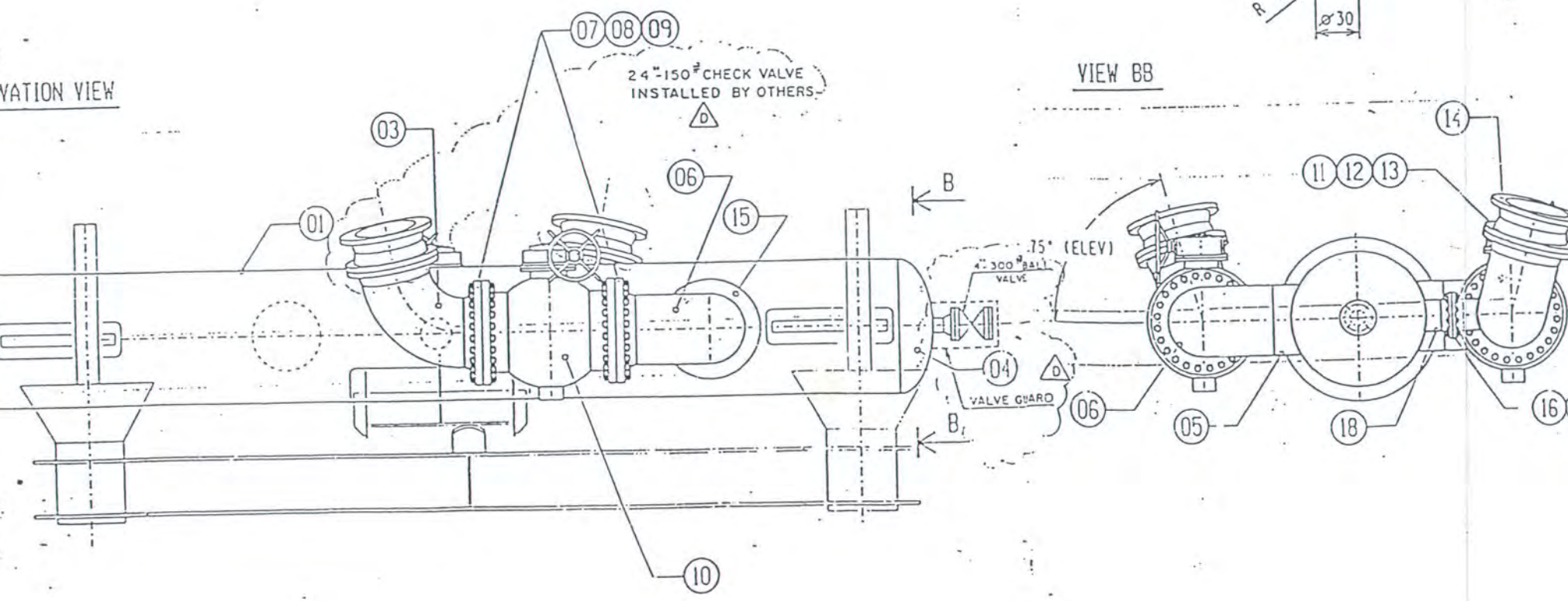
SECTION CC

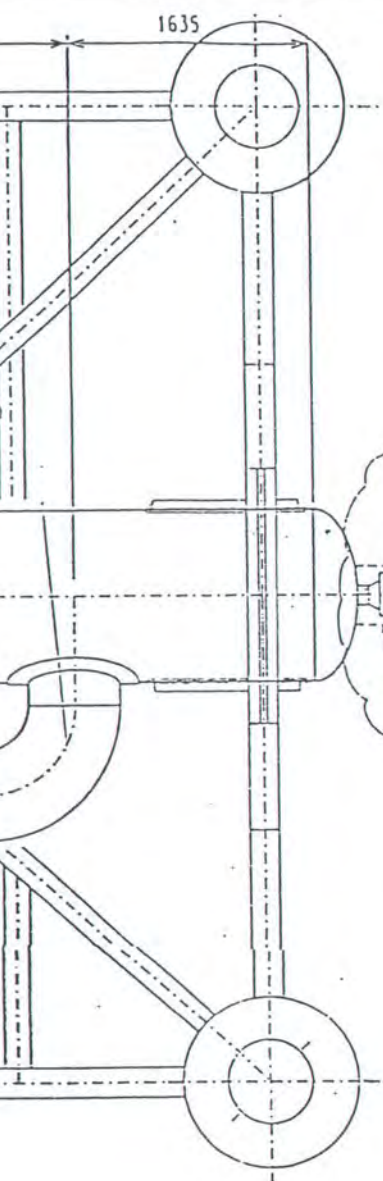
SCALE 1/2
B OFF.



VIEW BB

SECTION VIEW

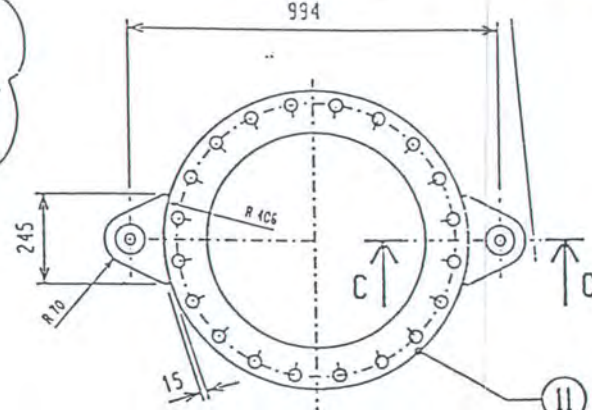
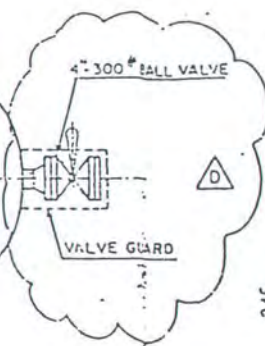
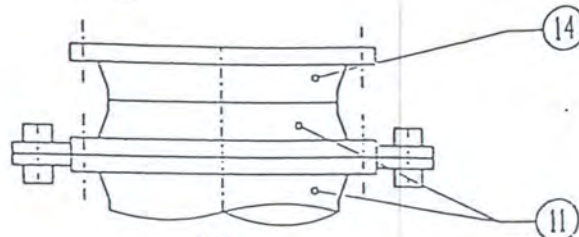




NOTES

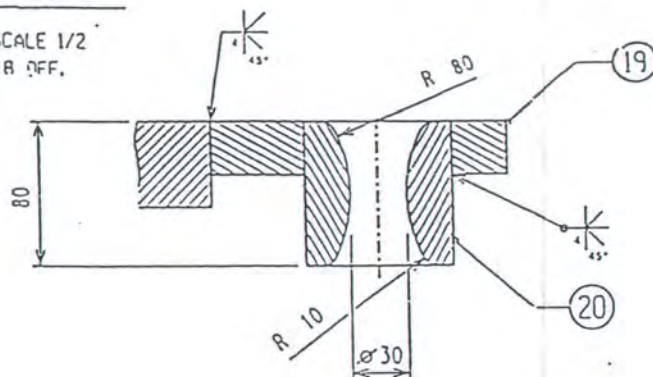
1. TORQUE OF BOLTS (GREASE MOUNTING): 197 N.m
2. FOR MATERIAL CHARACTERISTICS, SEE: STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL STEEL MATERIAL SPECIFICATION 1232.1.5.112.1.032755
3. THIS DRAWING SHOULD BE READ IN CONJUNCTION WITH PLEM PIPING SUPPORT - 1232.1.5.112.1.032770

DETAIL 1
SCALE 1/10

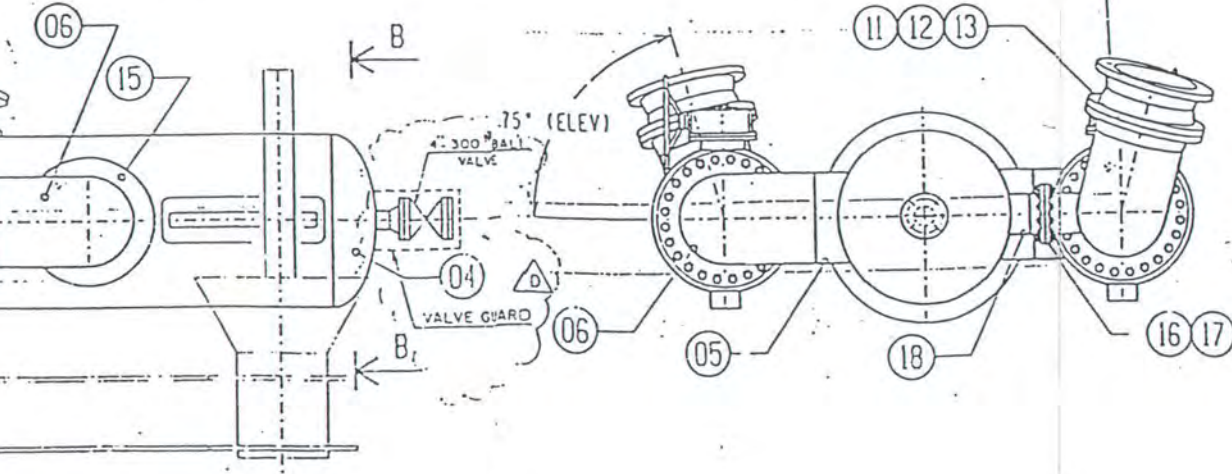
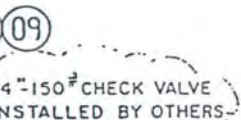


SECTION CC

SCALE 1/2
B OFF.



VIEW BB



| Status | Rev | Description | Author | Checker | Stress Analyst | Group Leader | Date |
|--------|-----|------------------------------|--------|---------|----------------|--------------|-----------|
| / | A | INITIAL ISSUE | JAT | YIG | / | YIG | 12-2-93 |
| / | B | STRUCTURE & SUPPORTS UPDATED | TCM | YIG | / | YIG | 25-MAY-93 |
| / | C | ELBOW ORIENTATION MODIFIED | YIG | / | / | YIG | 8 JUN 93 |
| / | D | AS BUILT | LS | TEO | / | / | 8 MAR 95 |

SMITH - METRIC 1 = 1 MILLIMETER 1 = 1 KILOGRAMME 1 KG 1 TONNE 1 T = 1000 KG 1
MATERIAL - WRITTEN AGREEMENT FROM SUPPLIER IS REQUIRED FOR ANY MATERIAL SUBSTITUTION.
FINISHES - DIMENSIONS GIVEN WITHOUT TOLERANCE SHALL BE IN ACCORDANCE WITH ISO 2678 (FORMER SERIES 1) SURFACE ROUGHNESSES ARE GIVEN IN μm ± 10 μm ± 10 μm IN ACCORDANCE WITH ISO 1302.
PLACEMENT - FORM AND POSITION TOLERANCES ARE GIVEN IN ACCORDANCE WITH ISO 1101 / 1662 / 1661.
WELDING - WELDING SHALL BE IN ACC. WITH PROJECT SPECIFICATIONS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
 - WELD SYMBOLS ARE IN ACCORDANCE WITH AWS D2.4 LAST EDITION.
 - UNLESS OTHERWISE INDICATED, FILLET WELDS SHALL BE CONTINUOUS, BUT WELDS SHALL BE COMPLETE PENETRATION.
 - UNLESS OTHERWISE INDICATED, BUTT WELDS SHALL BE THICKNESS STEP 1, 3.
 - UNLESS OTHERWISE INDICATED, THE MINIMUM SIZE OF DOUBLE FILLET WELDS SHALL BE AS PER THE FOLLOWING TABLE:

| Weld Size | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | |
|-----------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Weld Size | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

WHERE L IS THE THICKNESS OF THE THINNER PLATE AND R IS THE FILLET LEG SIZE.

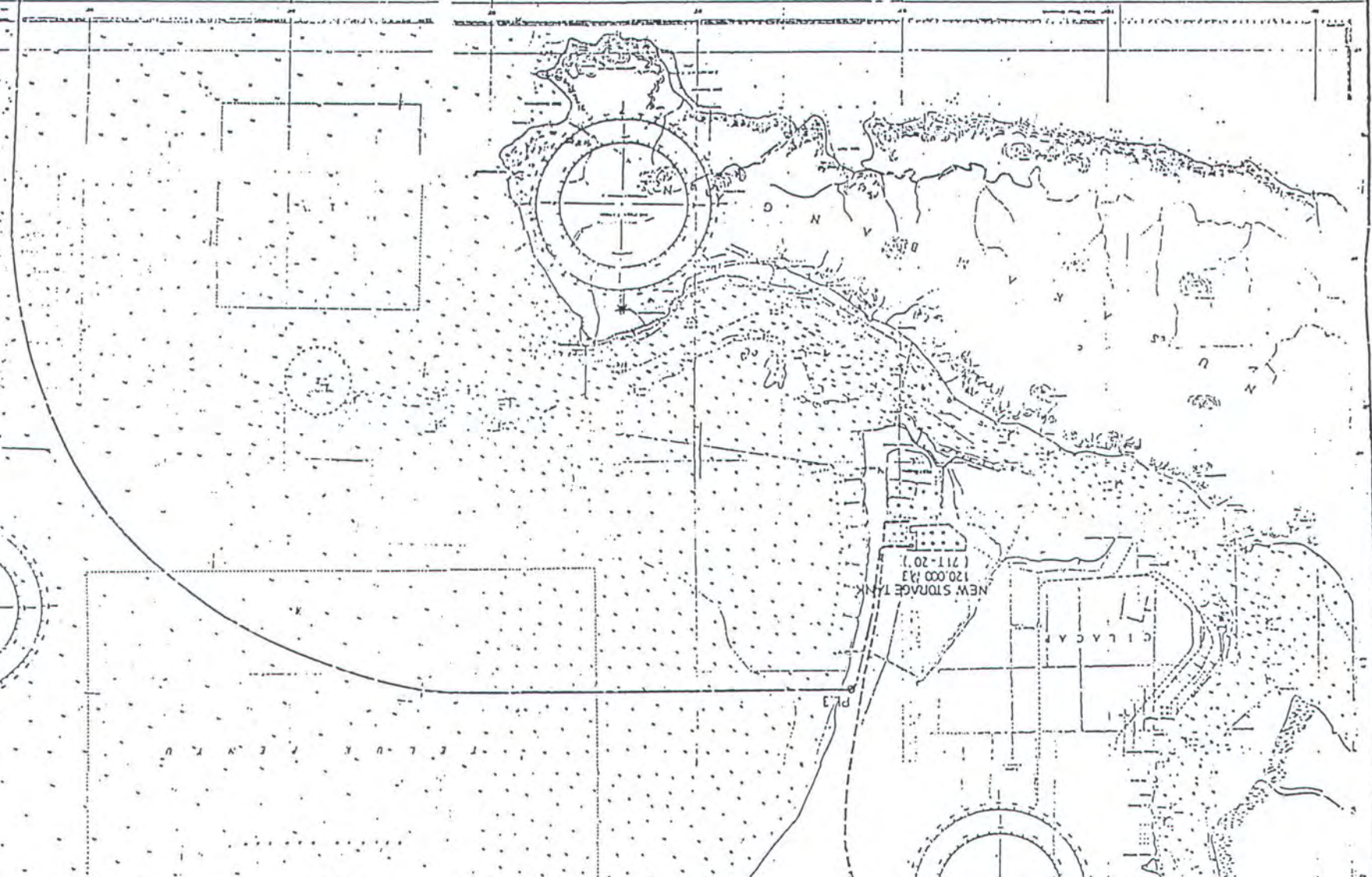
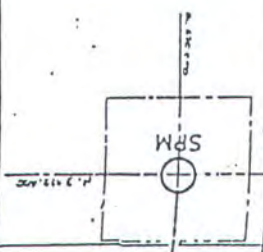
FABRICATION TOLERANCES:
 - UNLESS OTHERWISE INDICATED ON THE PARENT DRAWING OR IN THE PROJECT SPECIFICATIONS, ALL GEOMETRIC DIMENSIONS OF WELDED MEMBERS ARE GIVEN THE FOLLOWING TOLERANCE:
 ± 0.303 ± L WHERE L IS THE DIMENSION AND ± THE CORRESPONDING TOLERANCE.

| | | | | | | |
|----|---------|--|--------------------|------|------|----------------------------------|
| 20 | 0.6 H | ROUND BAR 80 DIA. | TYPE 5 | 29.5 | 21.7 | SEE NOTE 2 |
| 19 | 0.25 H2 | PLATE THK = 30 | TYPE 4 | 235 | 59 | SEE NOTE 2 |
| 18 | 0.8 H | 10" PIPE (OD 273 X 12.7 THK) | API SL CR B | 61.5 | 67 | |
| 17 | 24 | 3/8" STUD BOLT C/W HEAVY NUTS L = 4 1/2" | ASTM A193 B7/1942H | .51 | 12.2 | PIPE PROTECTED |
| 16 | 4 | 10" 150° W.J. FLANGE F.F. DIA. BORE = 247.6 | ASTM A 105 | 21 | 55 | |
| 15 | 2 | DOUBLER PLATE THK. 12 mm OD=870 ID=615 | TYPE 4 | 8.2 | 16.4 | SEE NOTE 2 |
| 14 | 2 | 24" 150° W.J. FLANGE F.F. DIA. BORE = 584.2 | ASTM A 105 | 118 | 236 | |
| 13 | 2 | 24" 150° GASKET FOR RF FLANGE | C.A.F. | | | |
| 12 | 40 | 1 1/2" STUD BOLT C/W HEAVY NUTS L = 7" | ASTM A193 B7/1942H | 1.3 | 52 | PIPE PROTECTED |
| 11 | 4 | 24" 150° W.J. FLANGE R.F. DIA. BORE = 584.2 | ASTM A 105 | 118 | 172 | |
| 10 | 2 | 24" 300° ANSI BALL VALVE MANUALLY GEAR OPERATED | | 4200 | 8400 | SEE SPEC. 1232. 0.0.030.5.032750 |
| 09 | 4 | 24" 300° GASKET FOR RF FLANGE | SPIRAL WOOD | | | |
| 08 | 96 | 1 1/2" STUD BOLT C/W HEAVY NUTS L = 9 1/2" | ASTM A193 B7/1942H | .11 | 293 | PIPE PROTECTED |
| 07 | 4 | 24" 300° W.J. FLANGE R.F. DIA. BORE = 584.2 | ASTM A 105 | 238 | 552 | |
| 06 | 2 | 24" 90° SHORT RADIUS ELBOW WT = 12.7 | ASTM A 234 WPB | 168 | 376 | |
| 05 | 0.5 H | 24" PIPE (OD 609.6 X 12.7 THK) | API SL CR B | 167 | 91.5 | |
| 04 | 1 | 46" ELLIPTICAL HEAD (19 THK) 115 MAR 1955 | ASTM A 234 WPB | 258 | 258 | |
| 03 | 2 | 24" 90° SHORT RADIUS ELBOW WT=12.7 CUT TO B1 | ASTM A 234 WPB | 170 | 340 | |
| 02 | 1 | 46" - 300° W.J. FLANGE R.F. DIA. BORE = 1130.3 | ASTM A 105 | 600 | 600 | |
| 01 | 8 H | 46" PIPE (OD 1168.4 X 19 THK) | API SL CR B | 510 | 4321 | |

APPROVED FOR CONSTRUCTION
 DATE: 14 OCT. 93
 Order NO: 50 1232
 E.P.M. [Signature]

| | | | |
|----------------------|-----------------------|---|----------|
| SEE DWG. ASS'Y: | 1232.1.5.110.1.032759 | TOTAL WEIGHT: | 16863 KG |
| E.P.M. NAME: | DATE: | SINGLE BUOY MOORINGS INC MARLY - SWITZERLAND ENGINEERING OFFICES MARLY P.O. BOX 197 | |
| A. SAETH P.P. (M) | MARCH 93 | SCALE: DESIGNED BY: 1/25 | |
| PLEM PIPING | | DRAWING NO.: 1232.1.5.113.1.032760 | |

| | |
|---|------------|
| GENERAL PLOT PLAN | |
| PERTAMINA UNIT PENGOLAHAN IV CILACAP | |
| KETERANGAN REVISI | REVISI TGL |
| | |
| | |



T E L U K L E M K U