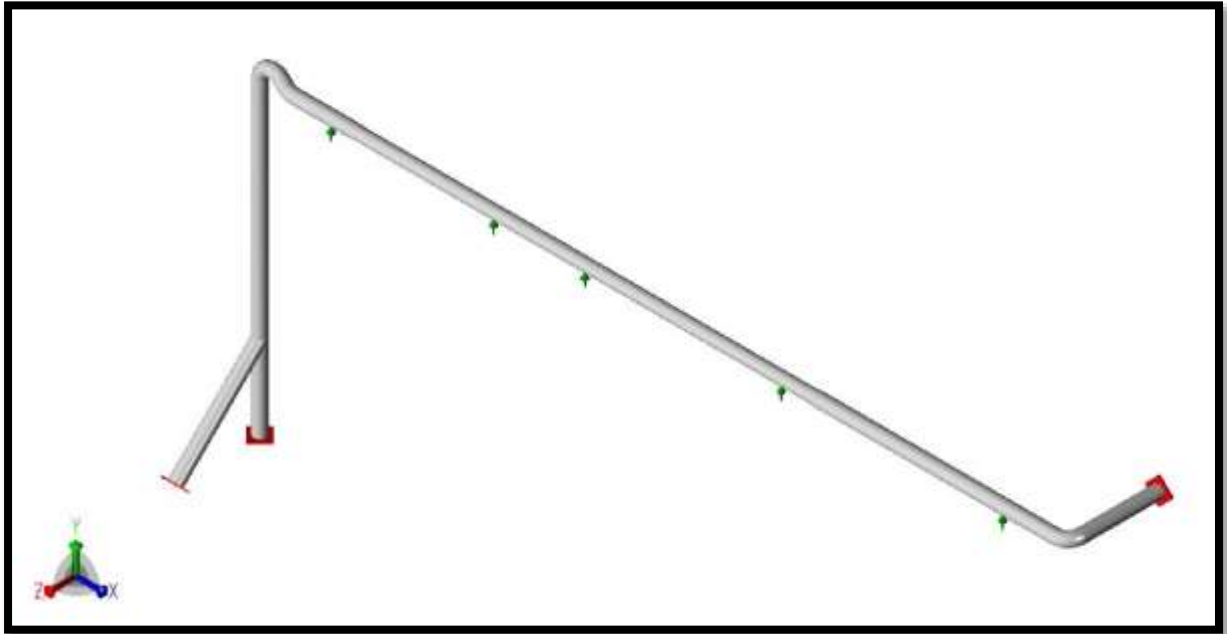


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Menggunakan Software *Caesar II*



Gambar 4.1 Desain Pipa Menurut lapangan

Spesifikasi pipa:

| | |
|-------------------|--------------------------|
| Material pipa | : ASTM A 335 P 11 |
| Panjang pipa | : 110.08 ft |
| Diameter Pipa | : 14 in dan 12 in sch 80 |
| Temperatur awal | : 70 °F |
| Temperatur Kerja | : 752 °F |
| Tekanan pada pipa | : 607 Psi : 41.851 bar |

4.2 **Pembahasan Kegagalan Pada Pipa**

Perancangan pipa mengacu pada standar ASME B31.3 “*Process Piping Code*” sebagai panduan untuk melakukan pemodelan sistem perpipaan. Analisis pada pipa sangatlah penting, pada dasarnya tekanan, temperatur dan berat pipa itu sendiri harus di perhitungkan untuk mengetahui beban yang diberikan pada pipa. Penyebab terjadinya *displacement* pada sistem

perpipaan di PLTU diakibatkan oleh ekspansi termal yang seringkali terjadi dalam sistem perpipaan yang mengakibatkan kegagalan berupa perpindahan hingga terjadinya kebocoran.

Beberapa mode kegagalan yang terjadi pada suatu sistem perpipaan yaitu ; kegagalan karena *yield stress* (material melebihi deformasi plastis), kegagalan karena *fracture* (material patah/*fails* sebelum sampai batas tegangan *yieldnya*).

Berikut ini adalah kegagalan yang terjadi pada node 830 kondisi lapangan pemasangan *support* berupa *clm support* pemasangan *clm support* pada node 830 bertujuan untuk mengurangi displacement yang diakibatkan oleh fluida yang mengalir di dalamnya. Dalam pemodelan menggunakan *constant support*, karena pada kondisi lapangan *clm support* tidak berpengaruh terhadap perubahan bentuk, sedangkan menggunakan *constant support* perubahan bentuk yang disebabkan oleh fluida hasilnya lebih efisien, sehingga pada pemodelan menggunakan *constant support*. Pada node 795 kondisi lapangan pemasangan *support* berupa *gap support* tetapi pada pemodelan dipasang *constant support* karena pada kondisi lapangan tidak berfungsi, sehingga pada pemodelan memakai *constant support*.

Beban yang diberikan berupa :

1. temperatur = 752 °F
2. tekanan pada pipa = 607.33 Psi
3. grafitasi = 32.17 ft/s²

Berdasarkan hasil analisis, perhitungan di lapangan berbeda dengan hasil perhitungan menggunakan *software Caesar II*. Hal tersebut dikarenakan defleksi pada pipa yang terjadi berulang-ulang, sehingga terjadinya keretakan pada sambungan las yang mengakibatkan kebocoran pada sistem tersebut. Pipa tersebut terangkat setinggi 40 mm dan bergeser ke arah utara sejauh 150 mm. Sedangkan pada perhitungan menggunakan *software Caesar II*, *displacement* di lapangan tersebut berubah menjadi 103.7 mm ke arah utara dan terangkat setinggi 50.94 mm. Untuk mengurangi *displacement*, dilakukan pemasangan *Expansion Loop* sehingga *displacement* tersebut berkurang menjadi 85.29 mm.

4.3 Data Penelitian Perpindahan Posisi Pipa Pernode Berdasarkan Hasil Perhitungan Lapangan

4.2.1 Kegagalan pertama pada sambungan las Node 830



Gambar 4.2 Node 830

- Support terangkat sejauh 40 mm, dan bergeser ke arah utara 150 mm.
- Pemasangan support dan guide sesuai dengan desain (support bawah saja)
- Support tidak berfungsi

4.2.2 Kegagalan yang kedua pada sambungan las Node 820



Gambar 4.3 Node 820

- Kondisi aktual support, berupa sliding support.
- Support terangkat sejauh 30mm, dan bergeser ke selatan 60 mm.
- Pemasangan support dan guide sesuai dengan desain (support bawah saja)
- Support tidak berfungsi

4.2.3 Kegagalan yang ketiga yang terjadi pada sambungan las Node 810



Gambar 4.4 Node 810

- Kondisi aktual support sudah dimodifikasi berupa Spring support.
- Support terangkat sejauh 30 mm, dan bergeser ke arah selatan
- Secara desain seharusnya terdapat guide support timur-barat
- Pemasangan support tidak sesuai dengan desain (support bawah saja)
- Support tidak berfungsi

4.2.4 Kegagalan yang ke empat pada sambungan las Node 800



Gambar 4.5 Node 800

- Kondisi aktual support, berupa sliding support.
- Support terangkat sejauh 110 mm
- Pemasangan support dan guide sesuai dengan desain (support bawah saja)
- Support tidak berfungsi

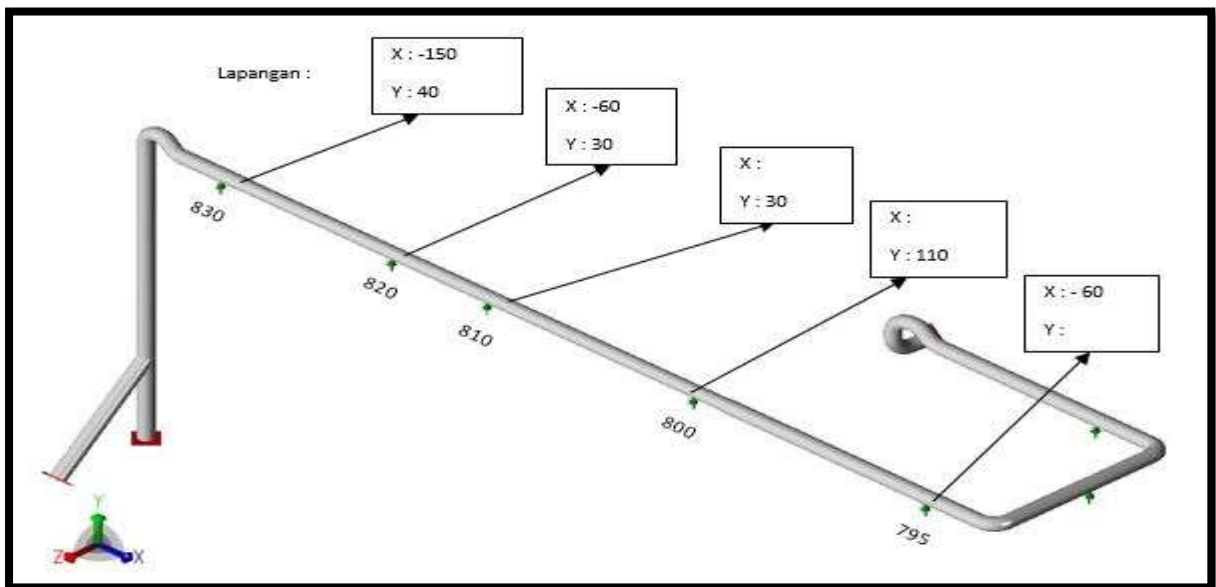
4.2.5 Kegagalan yang kelima pada sambungan las Node 795



Gambar 4.6 Node 795

- Kondisi aktual terdapat support atas bawah dan guide timur-barat
- Gap hanya pada guide sebelah barat sebesar 2 mm
- sementara yang lainnya menempel pada beam
- Guide sebelah timur miring menandakan pipa mendapat momen puntir arah sumbu x (MX Clockwise)
- Support bergeser ke arah selatan 60 mm.
- Menurut desain hanya terdapat support bawah saja (sudah dilakukan modifikasi)

4.3 Pemodelan Dan Hasil Menurut perhitungan Lapangan



Gambar 4.7 Desain Dan Hasil Menurut Lapangan

Tabel 4.1 Perhitungan hasil lapangan

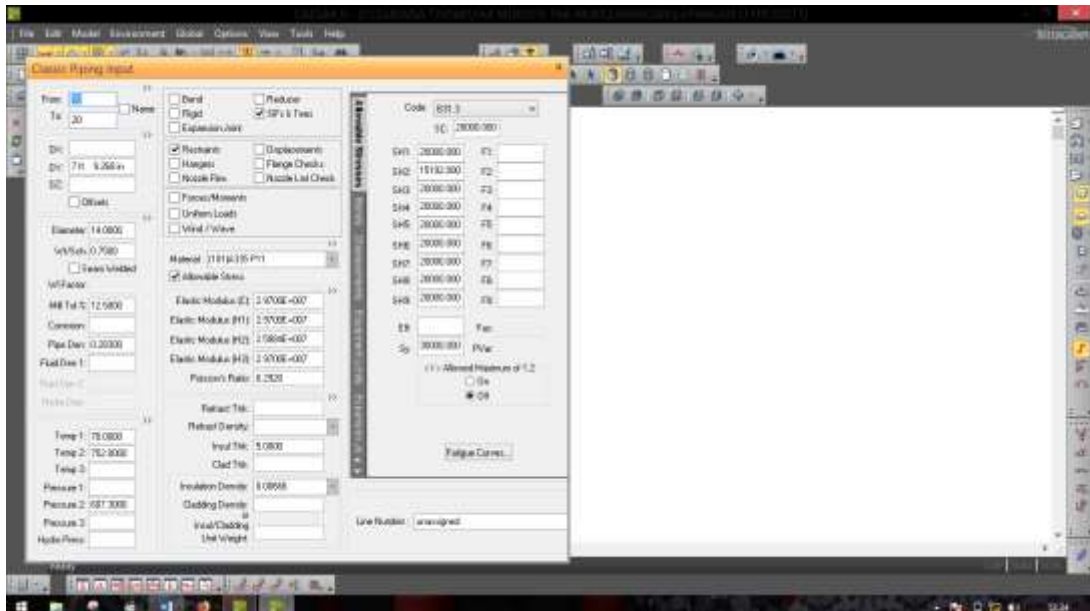
| no | Arah | | | Arah | | | Arah | | | Arah | | | Arah | | |
|----|------|----|---|------|----|---|------|----|---|------|-----|---|------|---|---|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z |
| | 830 | | | 820 | | | 810 | | | 800 | | | 795 | | |
| 1 | 150 | 40 | x | 60 | 30 | x | s | 30 | x | x | 110 | x | 60 | x | x |

4.4 Pemodelan dan Hasil Perhitungan Menggunakan *Caesar II*

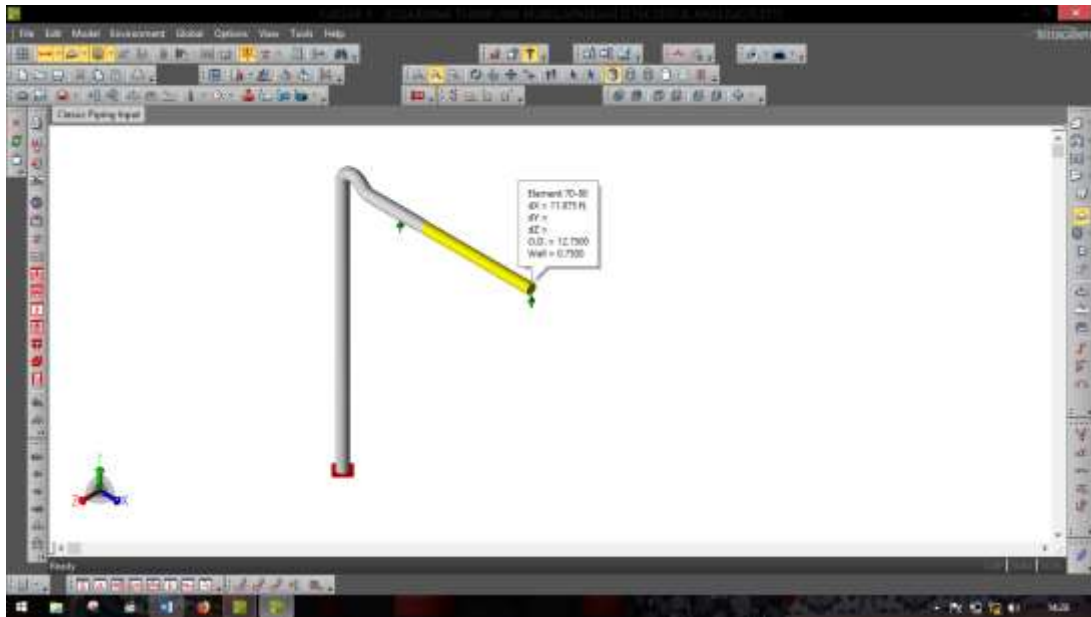
Langkah pertama dengan membuat perhitungan pipa, panjang pipa, tinggi pipa dan lebar sesuai dengan perhitungan di lapangan, kemudian :

Langkah 1

Input data pada form *classic piping input* seperti pada gambar dibawah ini.

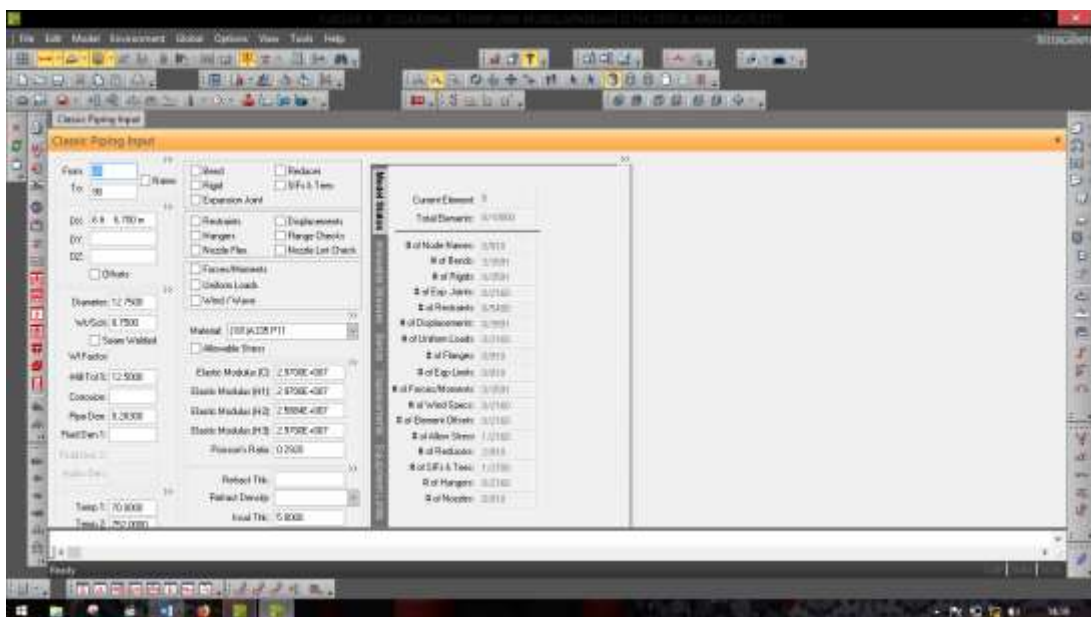


Setelah data di input maka didapatlah element 70-80 seperti pada gambar dibawah ini.

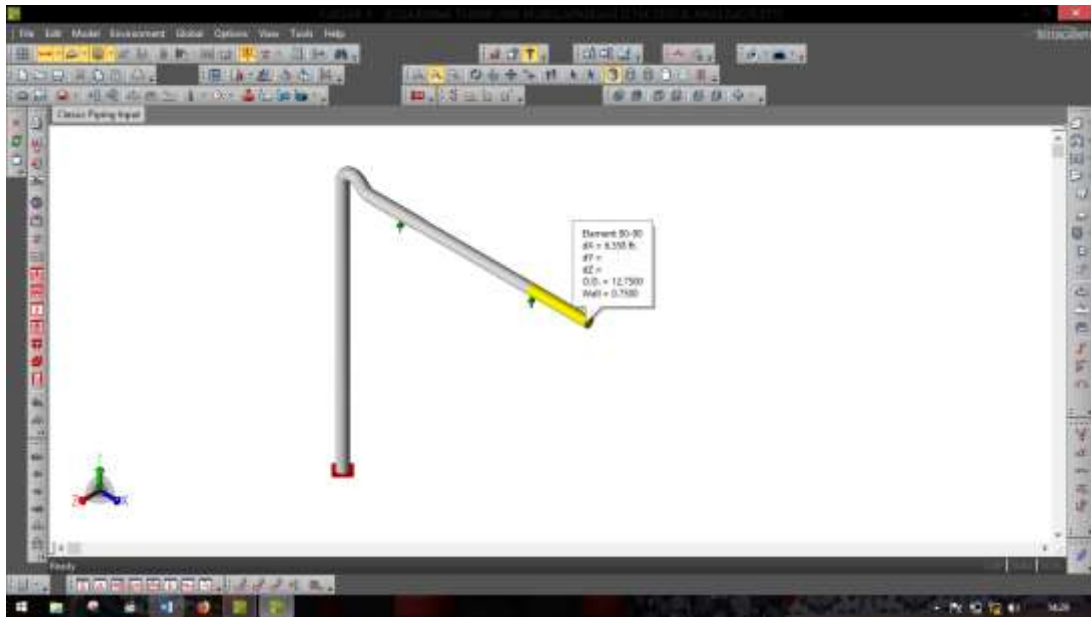


Langkah 2

Langkah selanjutnya yaitu pada element 80-90 input data pada from *classic piping input*

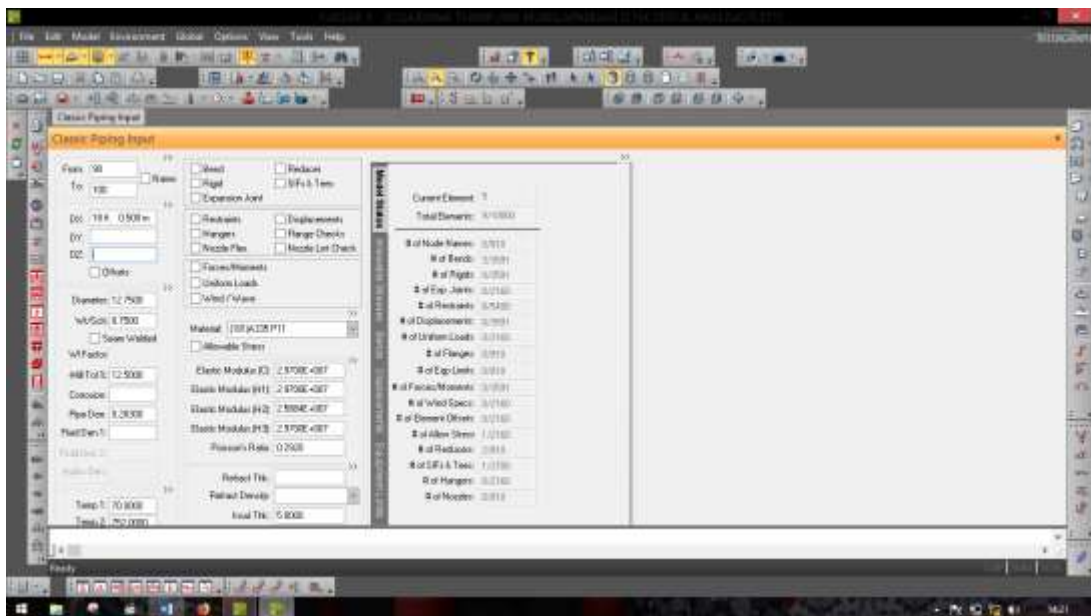


Maka didapat hasil seperti pada gambar berikut ini.

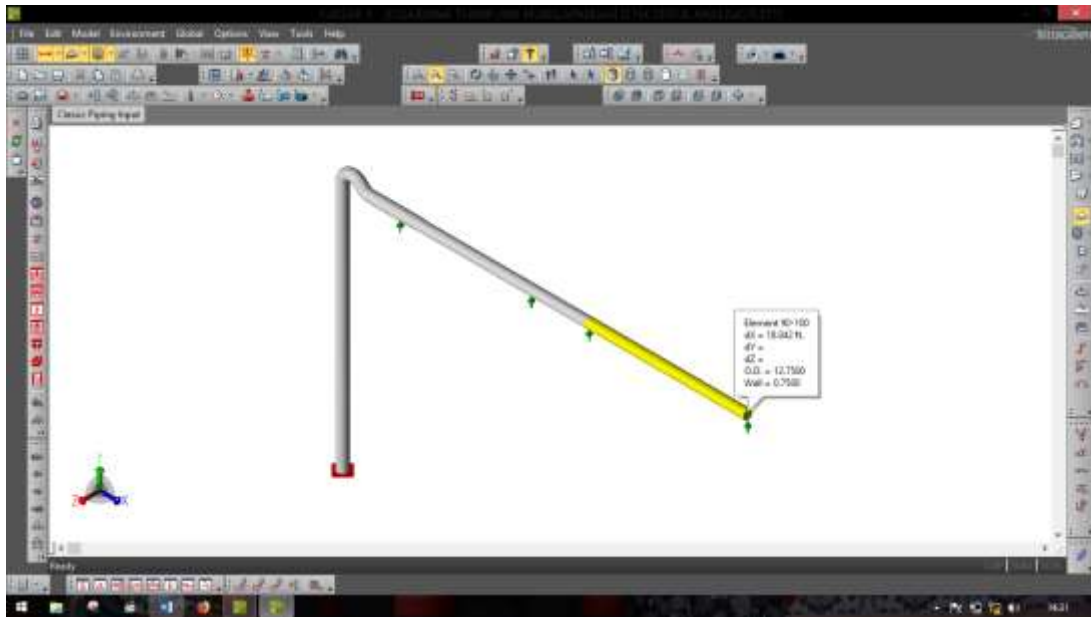


Langkah 3

Langkah selanjutnya yaitu pada element 90-100 input data pada from *classic piping input*

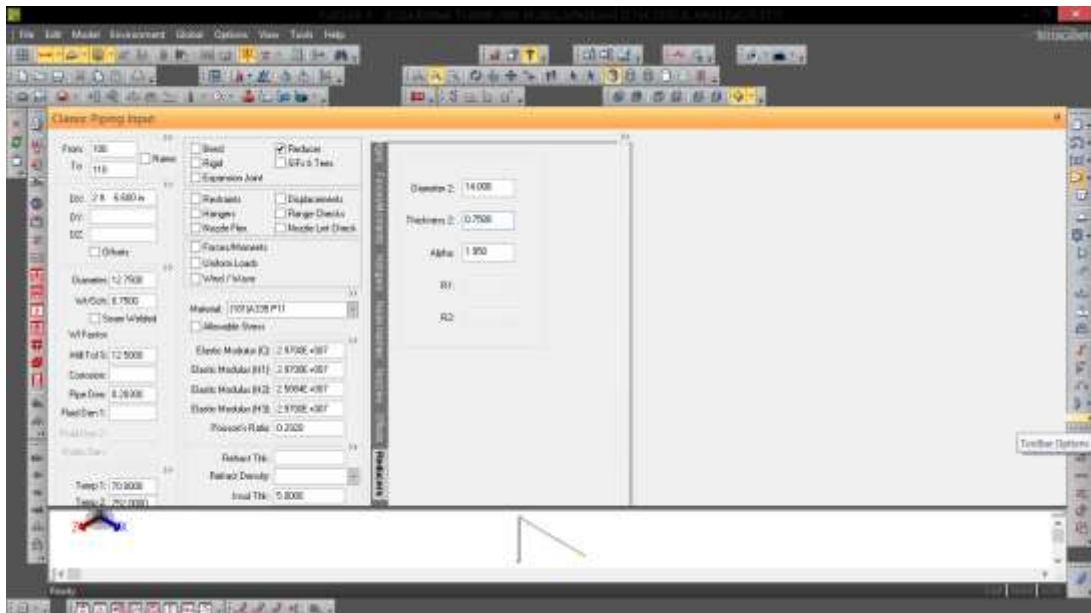


Maka didapat hasil seperti pada gambar berikut ini.

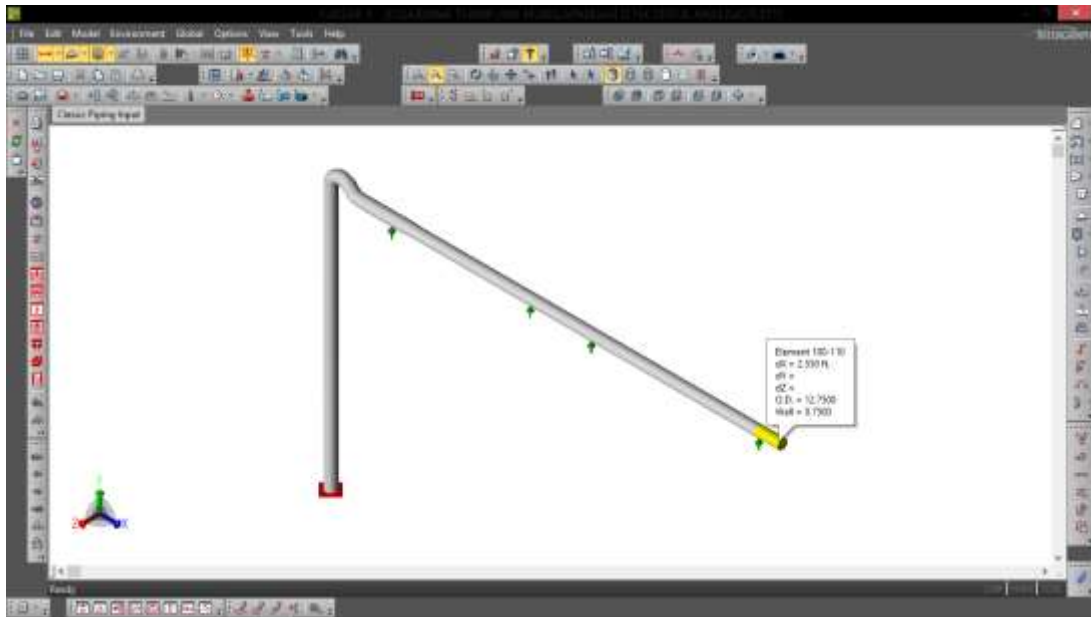


Langkah 4

Langkah selanjutnya yaitu pada element 100-110 input data pada from *classic piping input*

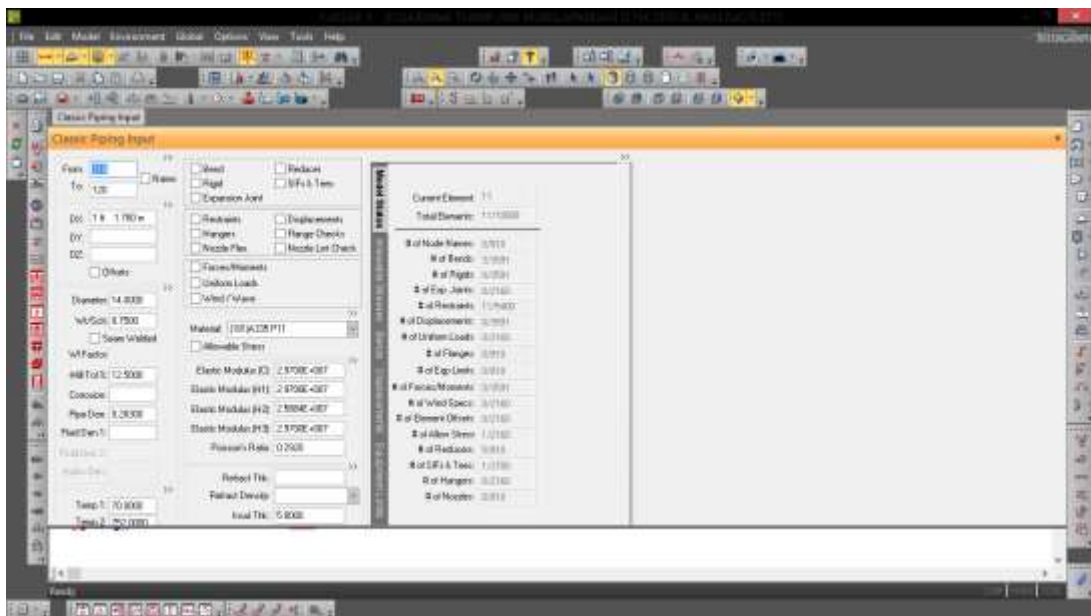


Maka didapat hasil seperti pada gambar berikut ini.

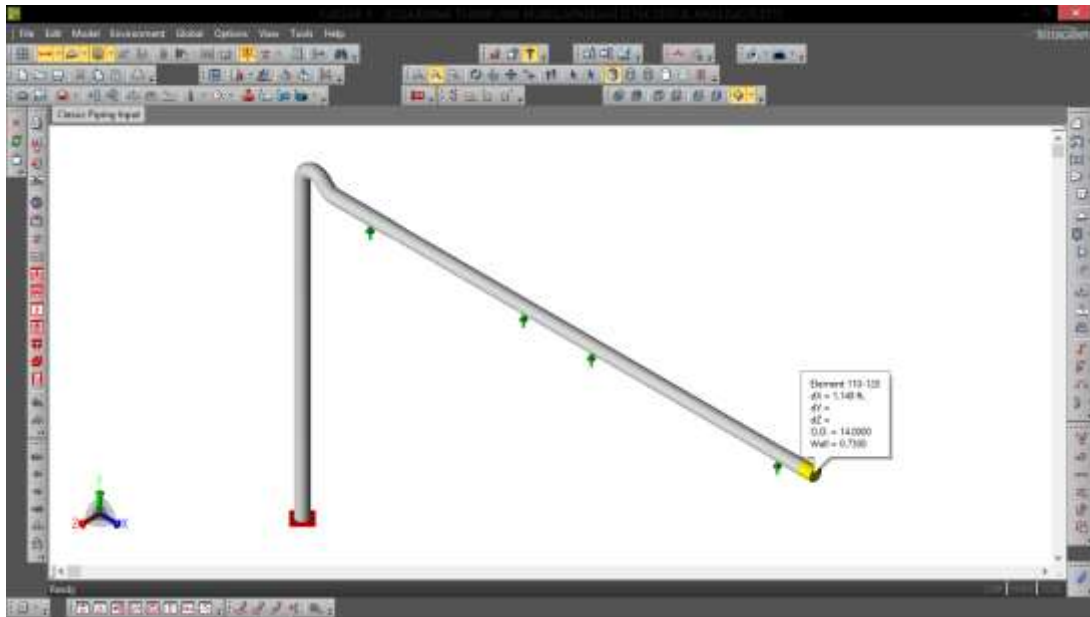


Langkah 5

Langkah selanjutnya yaitu pada element 110-120 input data pada from *classic piping input*

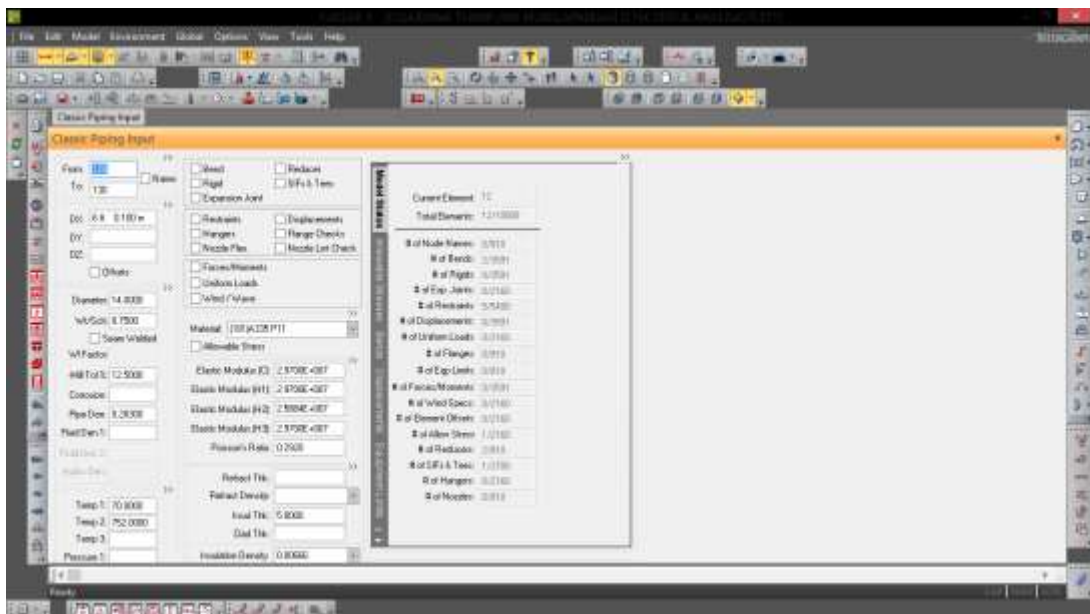


Maka didapat hasil seperti pada gambar berikut ini.

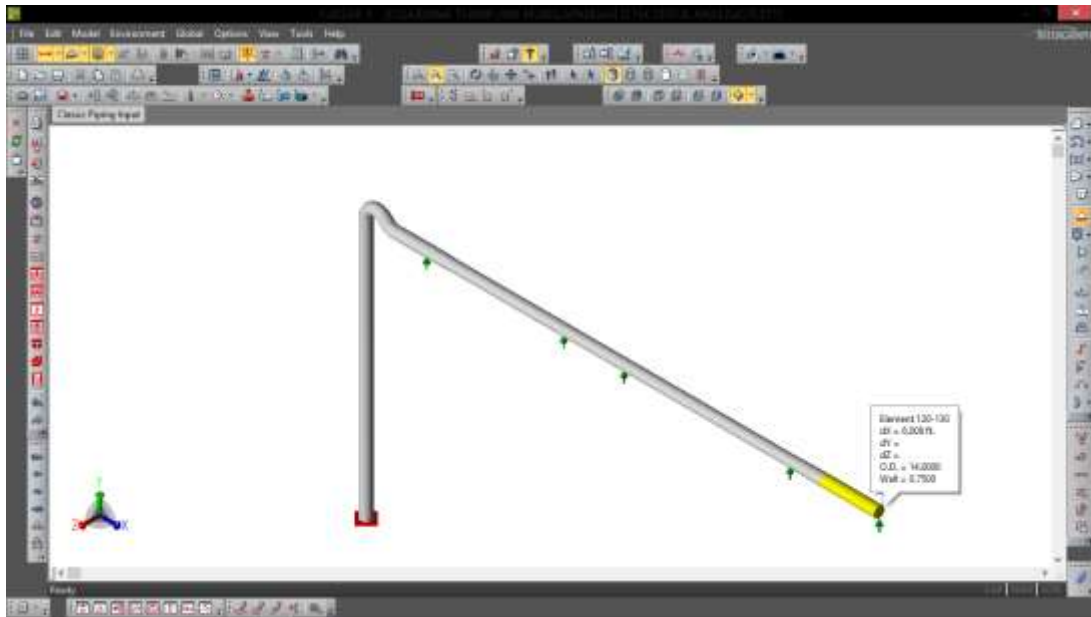


Langkah 6

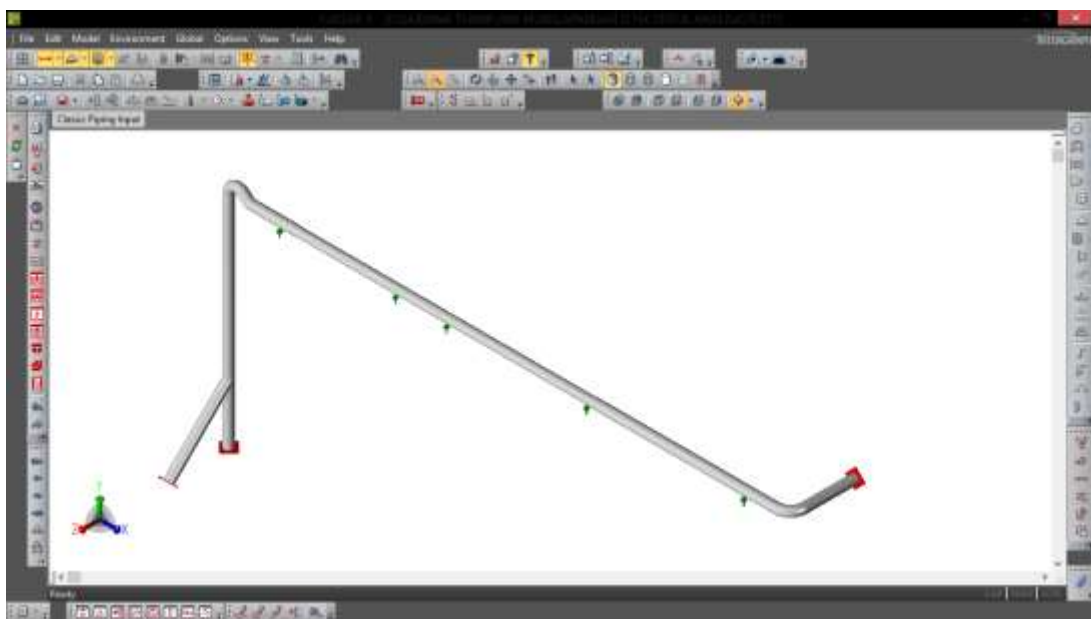
Langkah selanjutnya yaitu pada element 120-130 input data pada from *classic piping input*



Maka didapat hasil seperti pada gambar berikut ini.

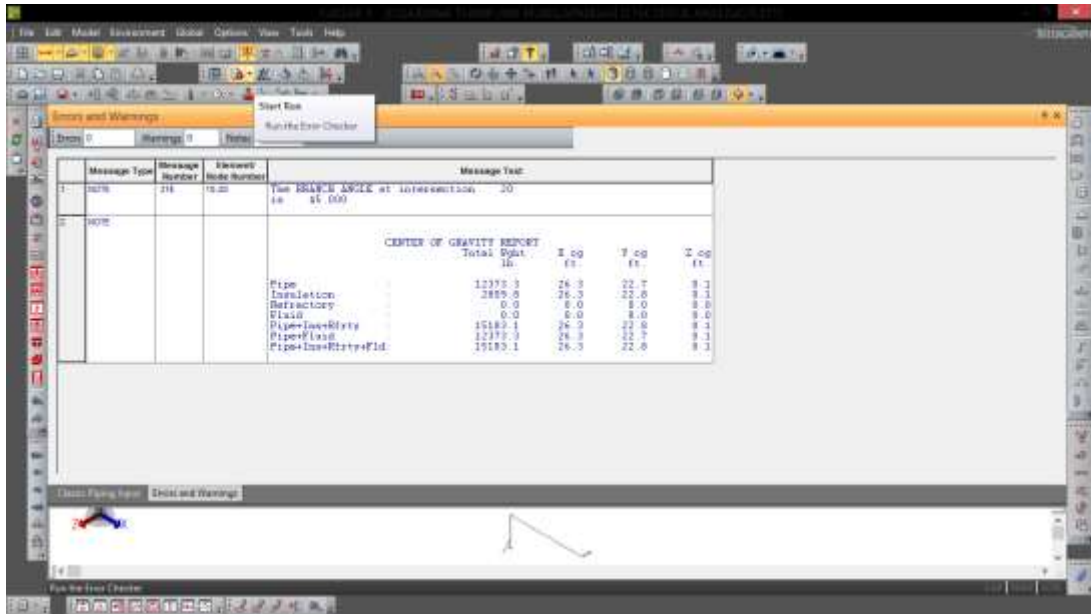


Setelah data selesai di input maka didapatlah hasil seperti pada gambar berikut ini.



Langkah 7

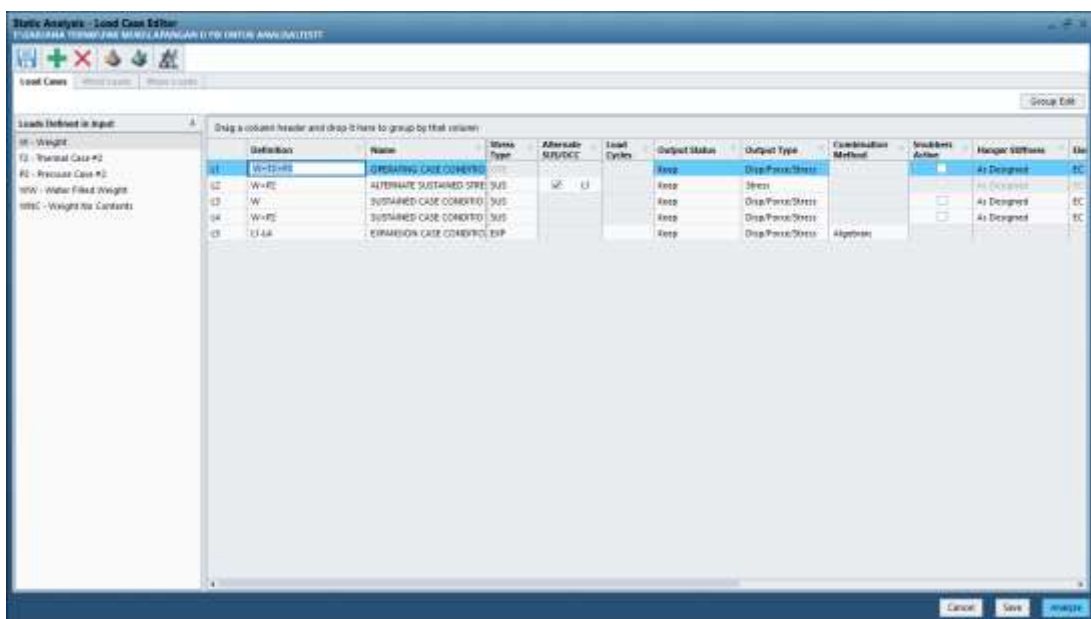
Setelah elemen 10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130,140 di input dilakukanlah pendeteksian pada tools RUN yang hasilnya berupa data analisa tegang yang terjadi pada elemen yang di input, jika data sesuai maka program bisa lanjut pada langkah berikutnya.



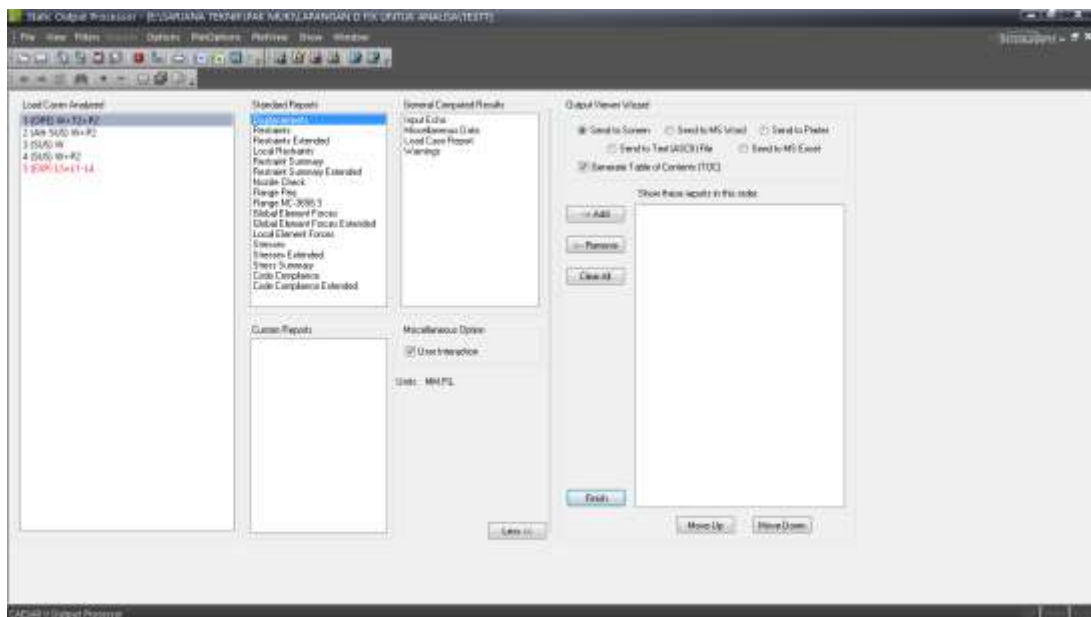
Pada umumnya pipa berbahan logam (metal) dan berisi fluida yang mempunyai temperature tertentu, maka secara hukum alam akan ada berat dari pipa beserta isinya serta pengaruh dari temperature fluida yang cenderung membuat sistim pemipaan akan bergerak.

Pergerakan dari system pemipaan tersebut bisa dalam bentuk tiga arah, yaitu arah ke bawah dan ke atas (arah vertical). Arah kesamping kiri dan kanan (arah lateral), dan arah sumbu pipa (aksial atau juga longitudinal). Pergerakan ini juga disebut dengan beban dan gaya.

Kemudian akan muncul gambar seperti dibawah ini lalu pilih apa yang akan dianalisa (W-Weight, w+T2+P2)

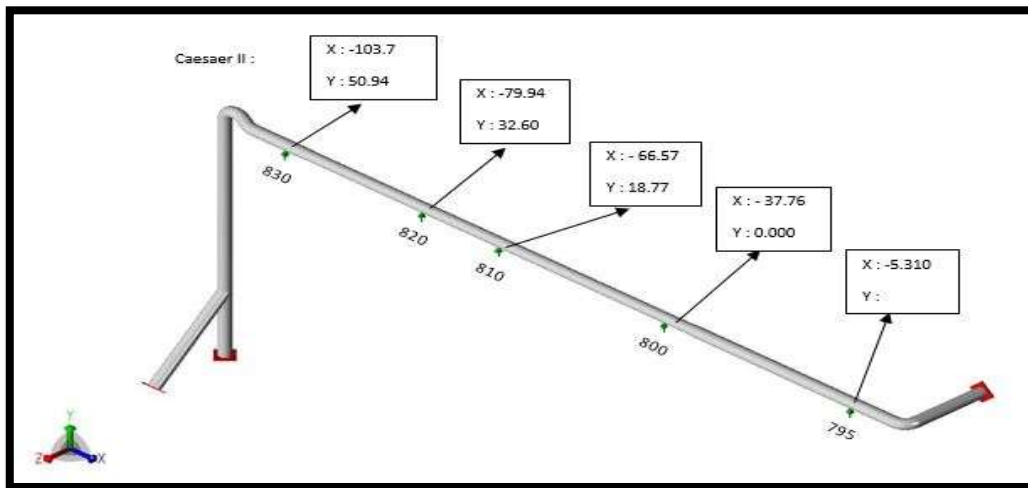


Kemudian pilih (OPE) W+T2+P2 untuk *load Cases Analyzed* dan klik *Standar Reports* (Displacements)



Apabila semua sudah selesai dengan langkah-langkah seperti di atas maka akan muncul hasil data berikut ini.

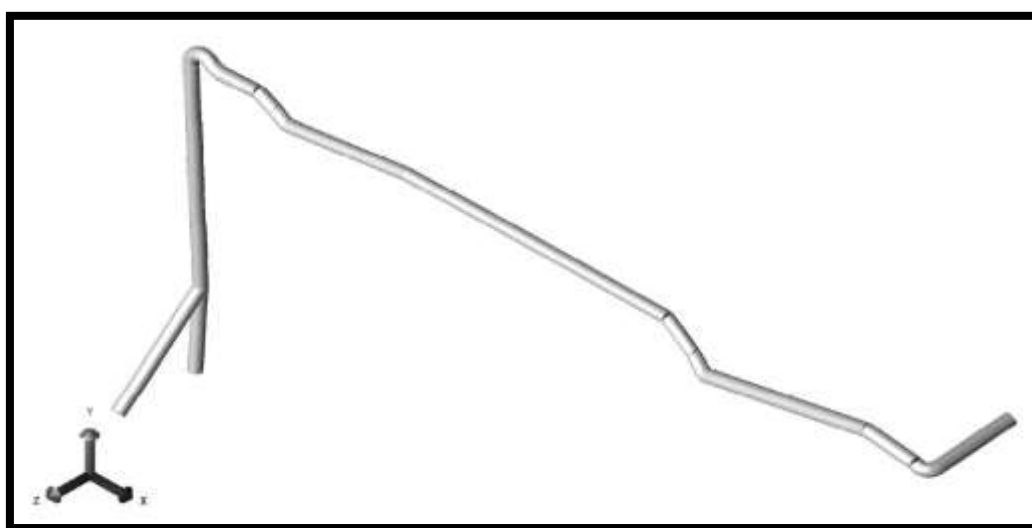
| Node | U0 mm | U1 mm | U2 mm | U3 deg. | U4 deg. | U5 deg. |
|------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|
| 10 | -0.000 | 0.000 | -0.000 | -0.0000 | -0.0000 | 0.0000 |
| 20 | -10.1897 | 12.324 | -11.978 | -0.2298 | -0.0088 | 0.4825 |
| 30 | -110.607 | 48.939 | -95.251 | -0.1808 | -0.1034 | 0.3098 |
| 40 | -118.969 | 48.822 | -84.782 | -0.1881 | -0.1182 | 0.3717 |
| 50 | -111.635 | 52.178 | -32.665 | -0.1258 | -0.1834 | 0.2118 |
| 60 | -118.888 | 81.888 | -32.197 | -0.1828 | -0.1883 | 0.1939 |
| 70 | -108.688 | 81.833 | -21.882 | -0.1548 | -0.1310 | 0.0941 |
| 80 | -108.183 | 81.837 | -21.181 | -0.1591 | -0.1391 | -0.0002 |
| 90 | -102.783 | 80.842 | -28.202 | -0.1498 | -0.1881 | -0.0901 |
| 100 | -108.820 | 49.978 | -26.588 | -0.1471 | -0.1720 | -0.1298 |
| 110 | -88.188 | 48.888 | -28.427 | -0.1480 | -0.1787 | -0.1387 |
| 120 | -78.962 | 82.600 | -13.750 | -0.1100 | -0.1182 | -0.1118 |
| 130 | -88.871 | 18.778 | -9.828 | -0.1028 | -0.1812 | -0.1988 |
| 140 | -37.760 | -0.000 | 3.212 | -0.0848 | -0.1118 | -0.0802 |
| 110 | -39.888 | 0.888 | 10.828 | -0.0898 | -0.0782 | -0.0478 |
| 130 | -31.888 | -4.133 | 11.188 | -0.0878 | -0.0888 | -0.0338 |
| 150 | -1.210 | 0.000 | 14.881 | -0.0228 | 0.0148 | 0.0288 |
| 188 | 2.421 | 0.438 | 12.888 | -0.0248 | 0.0387 | 0.0128 |
| 159 | 3.578 | 0.628 | 15.078 | -0.0232 | 0.1021 | 0.0078 |
| 140 | 3.888 | 0.788 | 11.888 | -0.0188 | 0.1288 | 0.0082 |
| 150 | 3.000 | -0.000 | -0.000 | -0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 160 | -0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |



Berikut adalah data yang didapat dari hasil *Caeser II*, data yang didapat jika dibandingkan dengan hasil lapangan lebih kecil dari hasil lapangan. Kemungkinan ada kesalahan dari faktor manusia (*human error*).

| no | Arah | | | Arah | | | Arah | | | Arah | | | Arah | | |
|----|------|-------|---|-------|-------|---|------|-------|---|------|-------|---|------|---|---|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z |
| | 830 | | | 820 | | | 810 | | | 800 | | | 795 | | |
| 1 | -103 | 50.94 | x | -79.9 | 32.60 | x | x | 18.77 | x | x | 0.000 | x | 60 | x | x |

Perubahan bentuk terhadap tempertur pada saat pemberian beban.



Gambar 4.8 Perubahan Bentuk Terhadap Tempertur

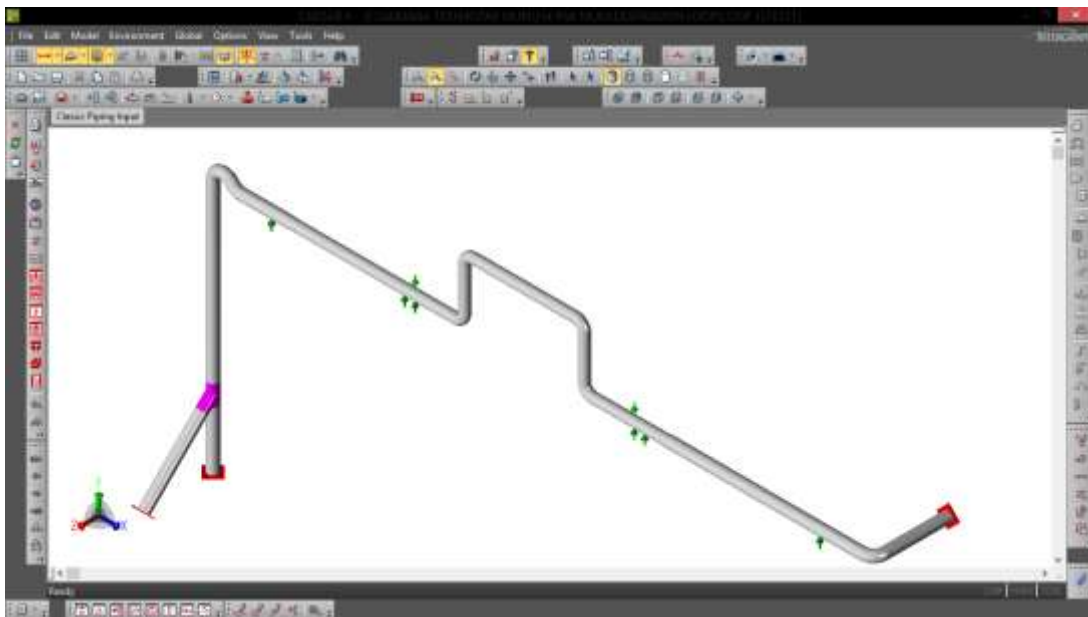
4.5 Pemasangan *Expansion Loop* Pada Sistem perpipaan.

Expansion loop memberikan kaki yang diperlukan oleh sistem pipa dalam arah tegak lurus untuk menyerap ekspansi termal yang terjadi. *Expansion loop* lebih aman dibandingkan dengan *Expansion Joints*, tetapi memerlukan lebih banyak ruang untuk pemasangan.

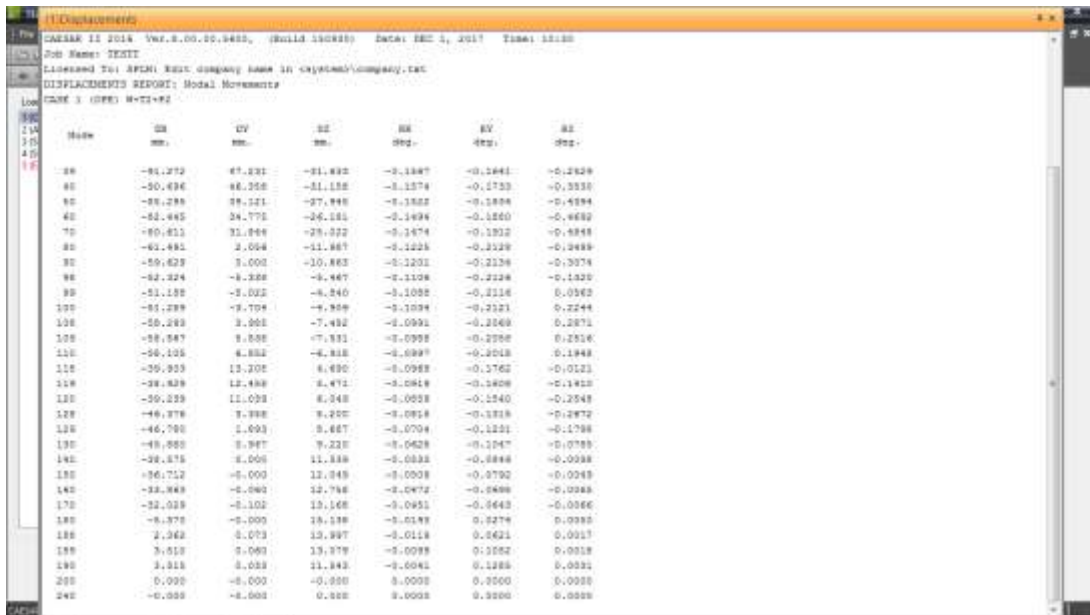
Manfaatnya :

1. Mencegah kegagalan pipa atau tumpuan akibat *overstress/fatigue*.
2. Mencegah kebocoran pada sambungan.
3. Mencegah terjadinya distorsi pada pipa atau pada sambungan dengan peralatan lain (pompa, vessel, dsb.), yang diakibatkan oleh adanya gaya dan momen yang berlebih pada sistem perpipaan.

Selanjutnya untuk mengurangi tingkat kegagalan pada system perpipaan yaitu dengan pemasangan *Expansion loop* dengan panjang *loop* 26.81 in.



Hasil setelah pemasangan *Expansion Loop* seperti gambar dibawah ini :

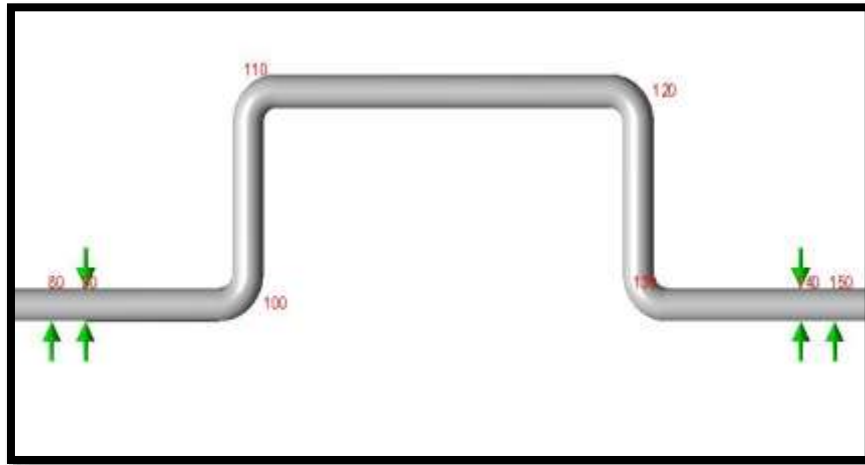


| No | Arah | | | Arah | | | Arah | | |
|----|--------|-------|------|--------|------|------|-------|--------|------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z | X | Y | Z |
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| | 830 | | | 820 | | | 795 | | |
| 1 | -85.29 | 39.12 | x | -61.49 | 2.05 | x | -5.37 | 0.0000 | X |

Setelah pemasangan *Expansion Loop* pada node 810-800 didapatkan hasil yang lebih baik daripada sebelum menggunakan *Expansion Loop* atau lebih efisien dengan menggunakan *Expansion Loop*.

4.6 Langkah-Langkah Pemasangan *Expansion Loop*

Langkah pertama dalam pengerjaan perancangan *Expansion Loop* harus menentukan besaran atau harga dari *loop* sendiri. Berikut langkah-langkah pemasangan *Expansion Loop* sebagai berikut:



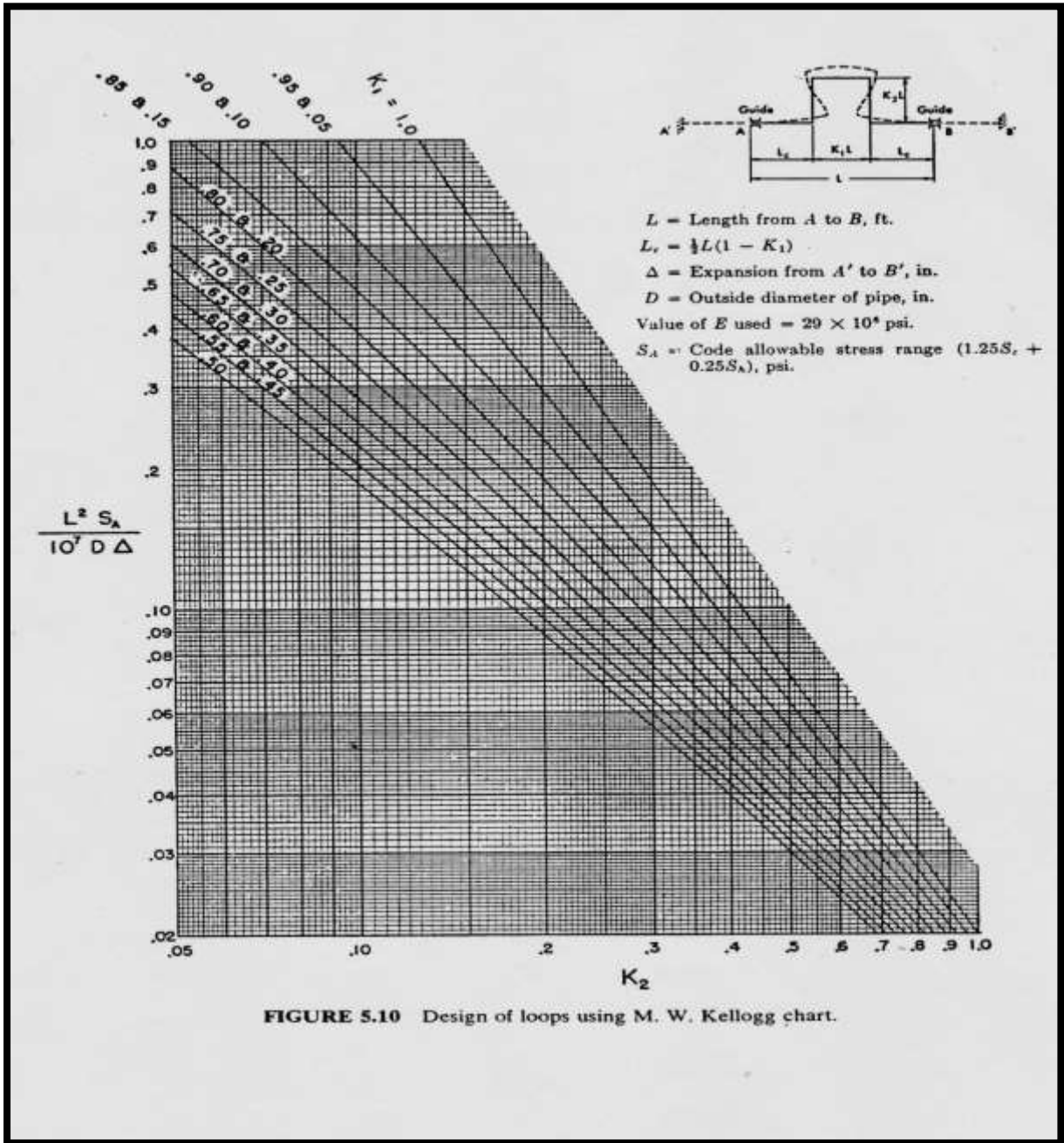
Gambar 4.9 *Expansion Loop*

Langkah pertama yaitu menentukan tinggi dan lebar *loop* beserta panjang kaki *loop* dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{l^2 \times S_A}{10^7 \times D \times \Delta} \quad (4.1)$$

$$\frac{26.81^2 \text{ft} \times 22176 \text{psi}}{10^7 \times 12 \text{in} \times 1.77 \text{in}} = 0.060$$

Angka 0.060 dipakai untuk menentukan besaran k1 dan k2 pada kurva berikut



Gambar 4.10 Curves Desain Of Loop

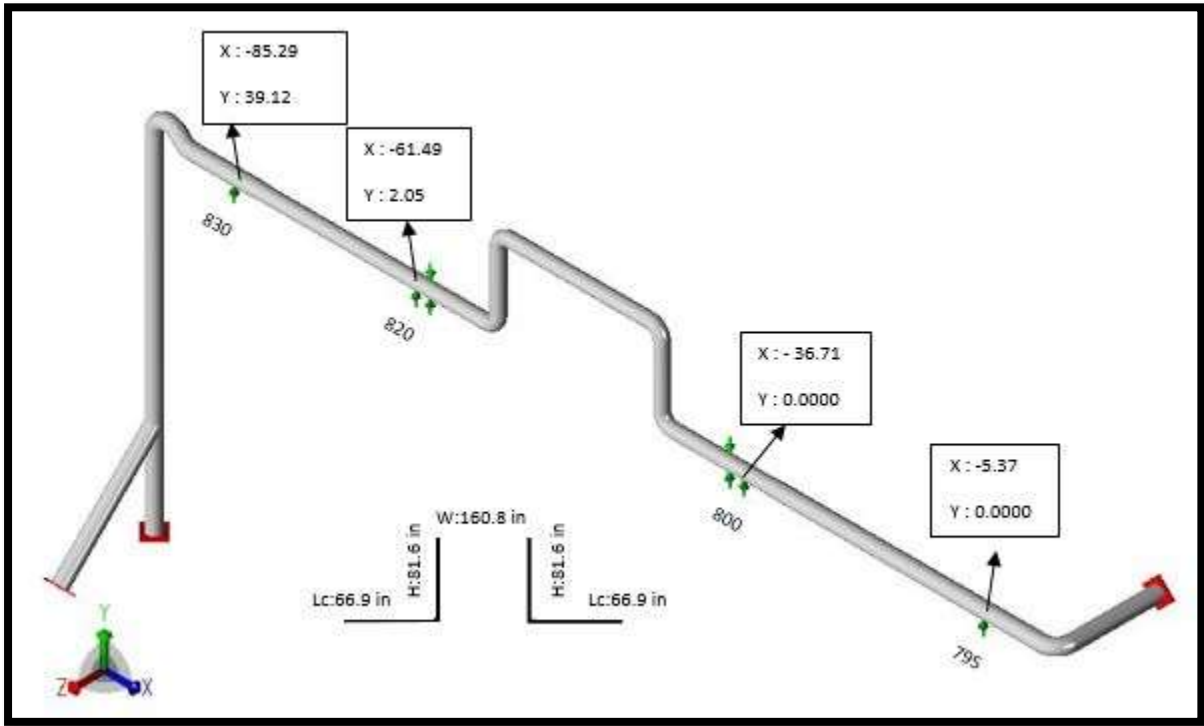
Persamaan atau besaran k_1 dan k_2 digunakan untuk mencari H dan W . dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$w = k_1 \times l \quad (4.2)$$

$$160.8 \text{ in} = 0.5 \times 26.81$$

$$H = k_2 \times l \quad (4.3)$$

$$81.6 \text{ in} = 0.26 \times 26.81$$



Gambar 4.11 Desain Pipa Setelah Pemasangan *Loop*

Setelah merancang *loop* kemudian menghitung ulang reaksi tumpuan beserta perpindahan berdasarkan *Caesar II* dan metode kellog. Berikut penjelasan mengenai perhitungan reaksi tumpuan beserta perpindahan.

$$f_A = \frac{10^6 x A_1 x \Delta}{L^3} \dots \dots \dots (4.4)$$

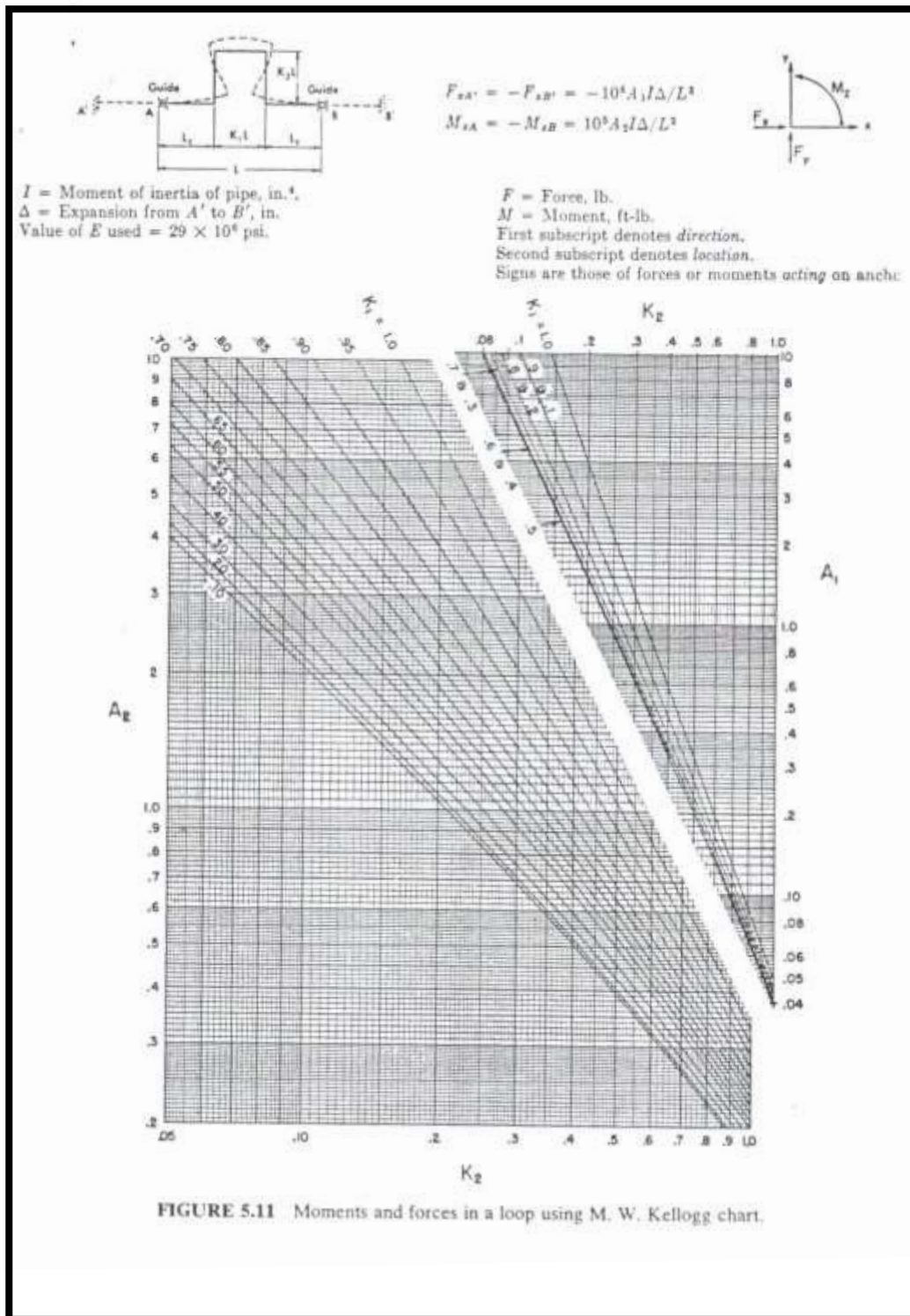
Dimana :

F = reaksi tumpuan (lbf)

Δ = *expansi thermal* (in)

L = panjang *space* pipa (f)

Untuk mencari A1 dapat dilihat pada kurva dibawah ini :



Gambar 4.12 Curves Desain Of Loop

$$f_A = \frac{10^6 \times 2.4 \times 1.77}{26.81^3} = 4687 \text{ lbf} \dots\dots\dots(4.5)$$

Data *Expansion Loop* berdasarkan *Caesar II* dan menurut *kellog* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3 Data *Expansion Loop*

| No | K1 | K2 | A1 | W(in) | H(in) | Lc(in) | F(lbf) | F Caesar II (lbf) |
|----|------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 1 | 0.50 | 0.254 | 2.4 | 160.8 | 81.6 | 66.8 | 4687 | 8051,7 |
| 2 | 0.55 | 0.30 | 2.8 | 176.9 | 96.47 | 75.04 | 5468 | 7909,7 |
| 3 | 0.60 | 0.32 | 4.4 | 192.9 | 102.84 | 83.04 | 8594 | 7821,8 |
| 4 | 0.65 | 0.34 | 5.4 | 209.04 | 109.32 | 91.11 | 10547 | 7703,1 |
| 5 | 0.70 | 0.36 | 8.3 | 225.12 | 115.8 | 99.15 | 16211 | 7558,9 |

Tabel 4.5 Perhitungan hasil *Caesar II*

| No | 830 | | | 820 | | | 810 | | | 800 | | | 795 | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | |
| | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
| 1 | -103 | 50.94 | x | -79.9 | 32.60 | x | s | 18.77 | x | x | 0.0000 | x | 60 | x | x |

Setelah pemasangan *Expansion Loop* terdapat perubahan pada perpindahan sebesar pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Caesar II Dengan *Expansion Loop*

| No | Arah | | | Arah | | | Arah | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
| | 830 | | | 820 | | | 795 | | |
| 1 | -85.29 | 39.12 | x | -61.49 | 2.05 | x | -5.37 | 0.0000 | x |
| 2 | -80.29 | 39.15 | x | -56.39 | 1.99 | x | -5.52 | 0.0000 | x |
| 3 | -78.93 | 38.64 | x | -55.12 | 2.005 | x | -5.53 | 0.0000 | x |
| 4 | -77.25 | 2.015 | x | -53.44 | 2.015 | x | -5.56 | 0.0000 | x |
| 5 | -75.34 | 38.49 | x | -51.53 | 2.031 | x | -5.60 | 0.0000 | x |

Tabel 4.7 Presentase Perbandingan Hasil Lapangan - *Caesar II* Tanpa *Loop*

| Hasil Perhitungan | 830 | | | 820 | | | 810 | | | 800 | | | 795 | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | |
| | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
| Lapangan | 150 | 40 | x | 60 | 30 | x | s | 30 | x | s | 110 | x | 60 | x | x |
| Caesar II | -103 | 50.94 | x | -79.9 | 32.60 | x | s | 18.77 | x | s | 0.0000 | x | 60 | x | x |
| Presentase | 31.33% | 27.35% | x | 33.16% | 8.7% | x | s | 37.43% | x | s | 100% | x | 0% | x | x |

Tabel 4.8 Presentase Perbandingan Hasil *Caesar II* memakai *loop–Caesar II* tanpa *loop*

| Hasil Perhitungan | 830 | | | 820 | | | 795 | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | ARAH | | | ARAH | | | ARAH | | |
| | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) |
| Caesar II Tanpa Expansion loops | -103 | 50.94 | x | -79.9 | 32.60 | x | 60 | x | x |
| Caesar Memakai Expansion Loops | -85.29 | 39.12 | x | -61.49 | 2.05 | x | -5.37 | x | x |
| Presentase | 43.14% | 2.2% | x | 2.48% | 93.16% | x | 91.05% | x | x |