

## PERANCANGAN DAN ANALISA SISTEM PERPIPAAN *PROCESS PLANT* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

\*Hendri Hafid Firdaus<sup>1</sup>, Djoeli Satrijo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: Hafidfirdaus@gmail.com

### Abstrak

Perancangan dan analisa tegangan sistem perpipaan *Process Plant* dilakukan dengan menggunakan standar ASME B 31.3 *Process Piping* pada *Natural Gas Plant* sub bagian *Condensate Recovery Plant* yang memiliki fungsi memisahkan *condensate* dari gas alam yang akan diproses. Perancangan menghasilkan empat jalur pipa utama, yaitu pipa jalur 1 *feed gas – three phase separator* dengan suhu operasi 102°F dan tekanan operasi 60 Psi, pipa jalur 2 *three phase separator – compressor* dengan suhu operasi 87°F dan tekanan operasi 52 Psi, pipa jalur 3 *compressor – gas cooler* dengan suhu operasi 175°F dan tekanan operasi 440 Psi, dan pipa jalur 4 *gas cooler – scrubber* dengan suhu operasi 95°F dan tekanan operasi 150 Psi. Masing-masing jalur pipa dianalisa dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* analisa tegangan pipa AUTOPIPE. Hasil analisa pipa jalur 1 memperlihatkan tegangan *sustained* + angin maksimal sebesar 4514 psi. Pada pipa jalur 2 didapatkan tegangan *sustained* maksimal sebesar 3841 Psi. Pada pipa jalur 3 didapatkan tegangan *hoop* maksimal sebesar 11106 Psi. Pada jalur 4 didapatkan tegangan *sustained* + angin maksimal sebesar 4198 Psi. Selanjutnya dilakukan perbaikan rancangan *span support* dan pengurangan ketebalan pipa pada keempat jalur pipa. Hasil yang diperoleh adalah : pipa perbaikan jalur 1 dengan tegangan *sustained* + angin maksimal sebesar 6303 Psi, pipa perbaikan jalur 2 dengan tegangan *sustained* maksimal sebesar 4699 Psi, pipa perbaikan jalur 3 dengan tegangan *hoop* maksimal sebesar 13888 Psi dan pipa perbaikan jalur 4 dengan tegangan *sustained* + angin maksimal sebesar 4936 Psi. Dapat disimpulkan bahwa penambahan panjang *span* pada sistem perpipaan dapat menaikkan tegangan *sustained* dan menurunkan tegangan ekspansi termal pada pipa.

**Kata kunci:** AUTOPIPE, *Condensate Recovery Plant*, Metode Elemen Hingga, *Process Piping*, *Process Plant*.

### Abstract

*Pipe stress analysis and design of process plant piping has been performed using ASME B 31.3 Process Piping Standard, especially at Condensate Recovery Plant in the Natural Gas Plant that have function to separate condensate from natural gas before entering next processes. Design had produced four main pipeline, pipeline 1 feed gas – three phase separator with operating temperature 102°F and operating pressure 60 psi, pipeline 2 three phase separator – compressor with operating temperature 87°F and operating pressure 52 psi, pipeline 3 compressor – gas cooler with operating temperature 175°F and operating pressure 440° psi, and pipeline 4 gas cooler – scrubber with operating temperature 95°F and operating pressure 150 psi. Each pipeline has been analyzed using finite element method on the pipe stress analysis software AUTOPIPE. The pipeline 1 analysis results showed maximum sustained + wind stress reached 4514 psi. The pipeline 2 analysis results showed maximum sustained stress reached 3841 psi. The pipeline 3 analysis results showed maximum hoop stress reached 11106 psi. The pipeline 4 analysis results showed maximum sustained + wind stress reached 4198 psi. Design improvement has been performed in the next step, focused on the span support improvement design and decreasing pipe thickness. The pipeline improvement design analysis results are : improvement pipeline 1 with sustained + wind stress maximum reached 6303 psi, improvement pipeline 2 with sustained stress maximum reached 4699 psi, improvement pipeline 3 with hoop stress maximum reached 13888 psi and improvement pipeline 4 with sustained + wind stress maximum reached 4936 psi. Could be concluded that increasing length of span in the piping system can increased pipe sustained stress and decreased pipe thermal expansion stress.*

**Keywords:** AUTOPIPE, *Condensate Recovery Plant*, Finite Elemen Method, *Process Piping*, *Process Plant*

## 1. Pendahuluan

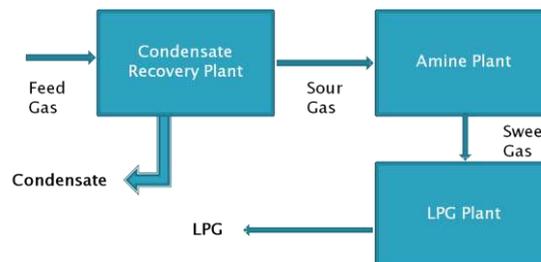
*Process Plant* adalah suatu sistem yang bertujuan memproses suatu fluida mentah menjadi fluida atau barang jadi dan memiliki nilai komersial. Beberapa contoh *Process Plant* antara lain Kilang minyak, Kilang Gas, Pabrik Petrokimia dan sebagainya. Pada *Process Plant* ini digunakan berbagai macam alat pemrosesan seperti *Three Phase Separator*, *Compressor*, *Heat Exchanger* dan lain-lain[1]. Peralatan-peralatan ini dihubungkan dengan sistem perpipaan guna mengalirkan fluida yang akan diproses oleh peralatan tersebut. Sistem Perpipaan adalah metode yang paling umum dan murah dalam memindahkan fluida dari satu titik pemrosesan ke titik yang lain. Oleh karena itu, pada *Process Plant* selalu digunakan sistem perpipaan sebagai konstruksi utama. Biaya yang diperlukan untuk konstruksi sistem perpipaan pada *Process Plant* bisa mencakup 35 persen dari biaya konstruksi *Process Plant* keseluruhan[2].

Sistem perpipaan sendiri memiliki standar yang telah ditentukan oleh ASME (*American Society of Mechanical Engineering*)[3]. Pada *Process Plant*, digunakan standar ASME B 31.3 *Process Piping* di dalam melakukan perancangan dan pemilihan komponen sistem perpipaan. Setelah sistem perpipaan terpasang dan beroperasi, maka muncul tegangan-tegangan pada sistem perpipaan tersebut, antara lain tegangan akibat beban *sustained* dan tegangan akibat beban *Thermal*. Tegangan akibat beban *Sustained* adalah tegangan yang disebabkan oleh beban berat pipa dan beban tekanan dalam pipa sedangkan Tegangan akibat beban *Thermal* disebabkan oleh kenaikan temperatur kerja pada pipa sehingga menyebabkan pemuaian pada pipa. Nilai tegangan-tegangan ini harus memenuhi standar keamanan dan tidak boleh melebihi *Yield Strength* dari material pipa supaya tidak terjadi kegagalan pipa dan kebocoran yang sangat berbahaya bagi lingkungan.

Dengan kemajuan teknologi yang cukup pesat, maka proses analisa tegangan sistem perpipaan dapat dilakukan dengan bantuan komputer. Dalam menganalisa tegangan yang bekerja pada pipa, bisa digunakan Metode Elemen Hingga. Beberapa perangkat lunak yang mampu melakukan analisa dengan metode elemen hingga antara lain ANSYS, AUTOPIPE, CAESAR dan sebagainya. Dengan adanya Metode Elemen Hingga dengan disertai komputer yang mampu melakukan perhitungan secara cepat dan akurat, maka proses perancangan sistem perpipaan menjadi lebih cepat dan aman sehingga memudahkan kerja dari insinyur dalam merancang dan menganalisa sistem perpipaan.

Tujuan dari Penelitian ini adalah melakukan perancangan sistem perpipaan pada *Process Plant* dengan acuan Standar ASME B 31.3 *Process Piping* dan mengetahui besar tegangan akibat beban *sustained* dan tegangan akibat beban *thermal* pada sistem perpipaan yang dirancang dengan menggunakan Metode Elemen Hingga.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem perpipaan pada bagian *Condensate Recovery Plant* yang ada di *LPG Plant*. *Condensate Recovery Plant* ini memiliki fungsi memisahkan air dan kondensat dari gas alam sebelum dilakukan proses pemisahan Karbon dioksida dan Hidrogen Sulfida di *Amine Plant*. Bagan Operasi *Natural Gas Plant* ditunjukkan pada Gambar 1.

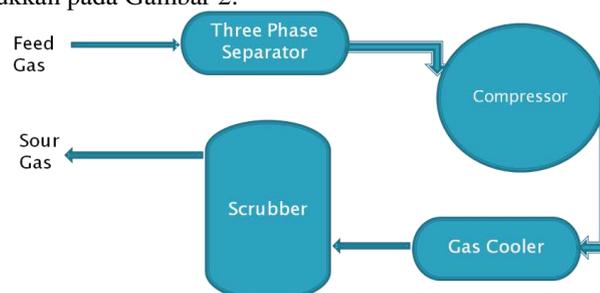


Gambar 1. Bagan Operasi *Natural Gas Plant* / *LPG Plant*

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Penentuan Kebutuhan Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan pada *process plant* yang dirancang adalah sistem perpipaan pada *LPG Plant*, dimana digunakan untuk mengalirkan gas alam guna diproses dalam alat-alat pemrosesan gas alam. Tugas Akhir ini berfokus pada bagian *Condensate Recovery Plant* yang merupakan bagian awal dalam *LPG Plant* yang memproses Gas alam. Fungsi dari *Condensate Recovery Plant* adalah memisahkan *Condensate* dan Air dari Gas alam yang akan diproses pada tahap selanjutnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Operasi *Condensate Recovery Plant*

*Condensate Recovery Plant* ini memiliki beberapa alat proses, antara lain *Three Phase Separator*, *Compressor*, *Gas Cooler* dan *Scrubber*. Masing-masing alat memiliki suhu dan tekanan kerja yang berbeda sehingga mempengaruhi tekanan dan suhu operasi dari pipa. Oleh karena itu, sebelum melakukan perancangan sistem perpipaan harus diketahui dulu kebutuhan tekanan dan suhu kerja dari pipa yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Suhu dan Tekanan Kerja Masing-Masing Jalur Pipa

No	Nama Jalur Pipa	Suhu (°F)	Tekanan (Psi)
1	<i>Feed Gas – Three phase separator</i>	102	60
2	<i>Three Phase Separator – Compressor</i>	87	52
3	<i>Compressor – Gas Cooler</i>	175	440
4	<i>Gas Cooler – Scrubber</i>	96	150

Sesuai dengan pernyataan kebutuhan pada Tabel 2, maka bisa ditentukan material dan dimensi pipa. Dimensi pipa yang penting adalah diameter luar pipa dan ketebalan pipa. Dimensi tersebut harus disesuaikan dengan dimensi standar yang telah ditentukan oleh ANSI.

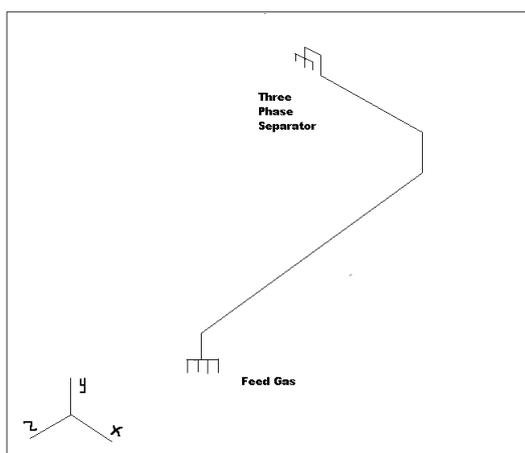
Material pipa yang digunakan adalah Carbon Steel ASTM A-106 *Grade B* yang banyak digunakan pada kilang gas alam, dengan besar tegangan izin sebesar 20000 psi. Diameter luar pipa yang digunakan pada pipa jalur 1 adalah 16 inchi, sementara pada jalur 2, 3 dan 4 adalah 14 inchi. Dasar dari pemilihan diameter luar ini adalah pengalaman saat studi lapangan dimana pipa diameter ini digunakan pada *condensate recovery plant*. Tabel 3 memperlihatkan ketebalan dan diameter yang dibutuhkan oleh masing-masing jalur pipa.

**Tabel 3.** Kebutuhan Material dan Dimensi Pipa

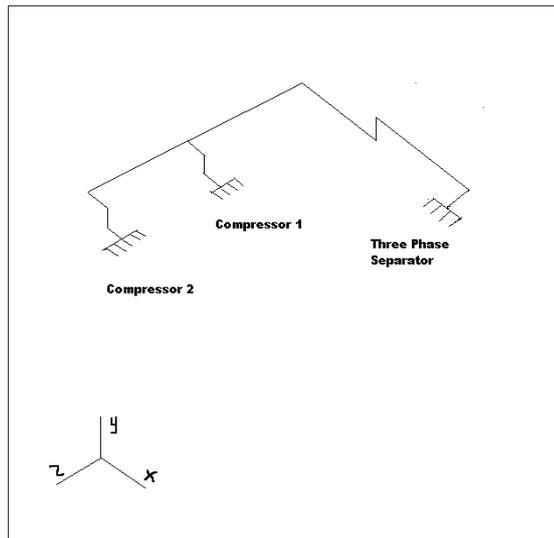
No	Nama Pipa	Material	Diameter	Ketebalan
1	Jalur 1 Feed gas – <i>Three Phase Separator</i>	<i>Carbon Steel A-106 grade B</i>	16 inchi	0,165 inchi ( <i>Schedule 5S</i> )
2	Jalur 2 <i>Three Phase Separator – Compressor</i>	<i>Carbon Steel A-106 grade B</i>	14 inchi	0,156 inchi ( <i>Schedule 5S</i> )
3	Jalur 3 <i>Compressor - Gas Cooler</i>	<i>Carbon Steel A-106 grade B</i>	14 inchi	0,312 inchi ( <i>Schedule 20</i> )
4	Jalur 4 <i>Gas Cooler – Scrubber</i>	<i>Carbon Steel A-106 grade B</i>	14 inchi	0,188 inchi ( <i>Schedule 10 S</i> )

## 2.2. Pembuatan Sketsa Jalur Pipa

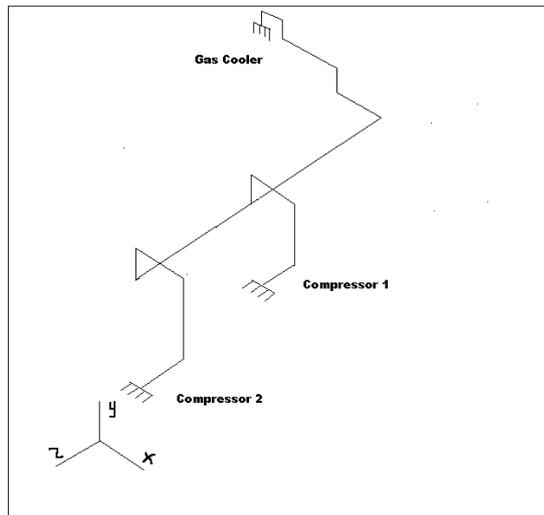
Langkah selanjutnya adalah membuat sketsa jalur pipa dengan menggunakan teknik manual. Sketsa ini adalah bagian dari proses desain yang penting, dimana kreatifitas dari *engineer* dapat dimasukkan ke dalam rancangan. Sketsa jalur pipa juga merujuk pada pengalaman lapangan penulis saat melihat rancangan *Natural Gas Plant* sebagai bahan untuk penelitian ini. Hasil sketsa masing-masing pipa ditunjukkan pada Gambar 3, 4, 5 dan 6.



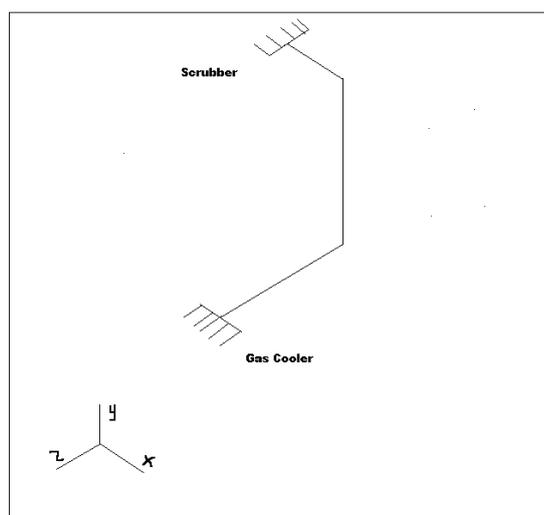
**Gambar 3.** Sketsa Jalur Pipa 1 *Feed Gas – Three Phase Separator*



**Gambar 4.** Sketsa Jalur Pipa 2 *Three Phase Separator – Compressor*



**Gambar 5.** Sketsa Jalur Pipa 3 *Compressor – Gas Cooler*



**Gambar 6.** Sketsa Jalur Pipa 4 *Gas Cooler - Scrubber*

### 2.3. Penentuan Komponen Sistem Perpipaan

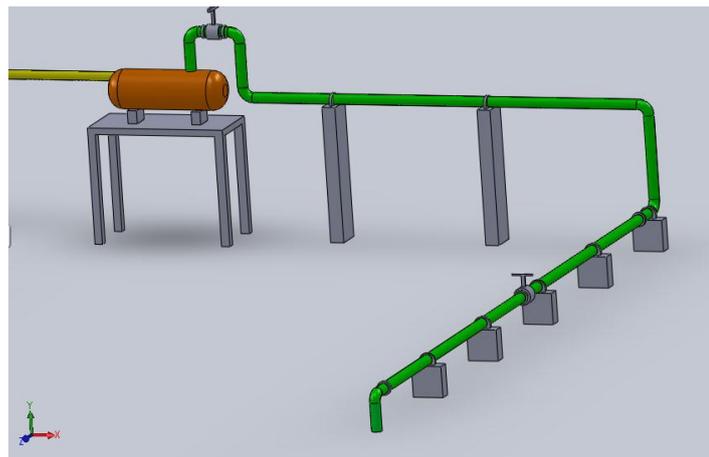
Sistem perpipaan dilengkapi dengan komponen – komponen antara lain *flange*, *valve* dan *support*. Untuk perancangan sistem perpipaan *condensate recovery plant* ini ditentukan jenis – jenis komponen tersebut seperti terlihat pada Tabel 4. Dasar pemilihan komponen *valve* dan *flange* adalah tekanan dan temperatur operasi dari masing-masing jalur pipa. Untuk pemilihan *support*, dipilih *support* yang paling sederhana yaitu bentuk *support guide* berupa *saddles*.

**Tabel 4.** Pemilihan Komponen Jalur Pipa

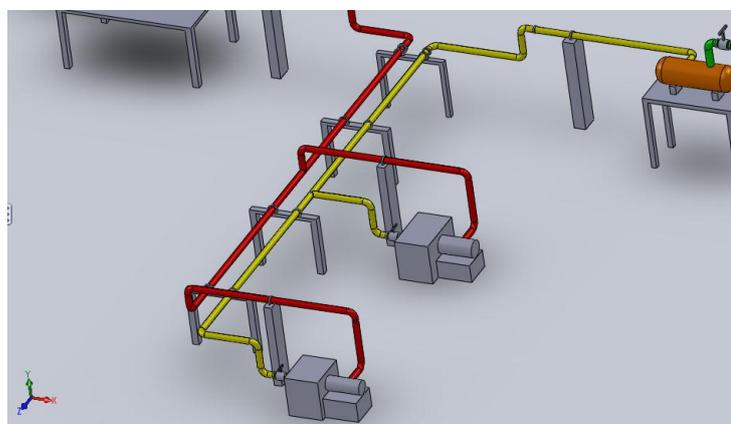
No	Nama Jalur Pipa	Valve	Flange	Support
1	Feed Gas – Three Phase Separator	Gate Valve class 150 (2)	Weld Neck Class 150 (6)	Guide support (7)
2	Three Phase Separator – Compressor	Globe Valve Class 150 (2)	Weld Neck Class 150 (6)	Guide support (5)
3	Compressor – Gas Cooler	Gate Valve Class 300 (1)	Weld Neck Class 300 (3)	Guide support (6)
4	Gas Cooler – Scrubber	Globe Valve Class 150 (1)	Weld Neck Class 150 (2)	Guide Support (1)

### 2.4. Model SOLIDWORKS Sistem Perpipaan

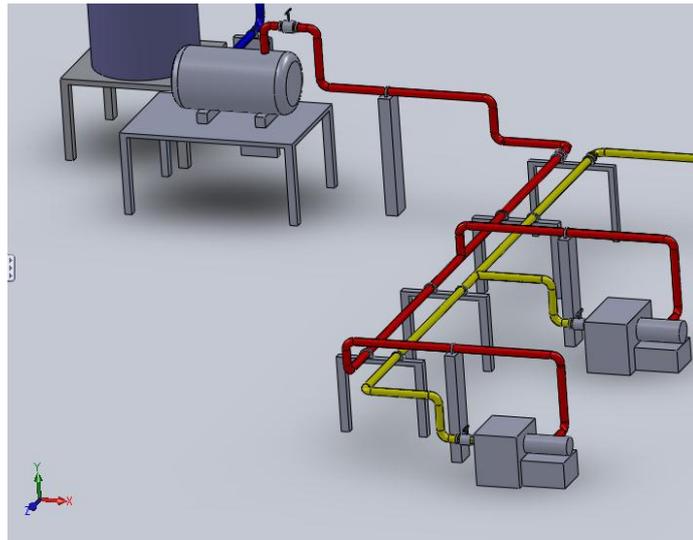
Model jalur pipa yang diinginkan kemudian digambar dalam bentuk model SOLIDWORKS guna memperlihatkan bentuk nyata dari jalur pipa. Semua pelengkap sistem perpipaan juga digambar di dalam SOLIDWORKS seperti model *vessel*, *saddles*, *valve* dan *support*. Model SOLIDWORKS dari masing-masing jalur pipa diperlihatkan pada Gambar 7, 8, 9 dan 10.



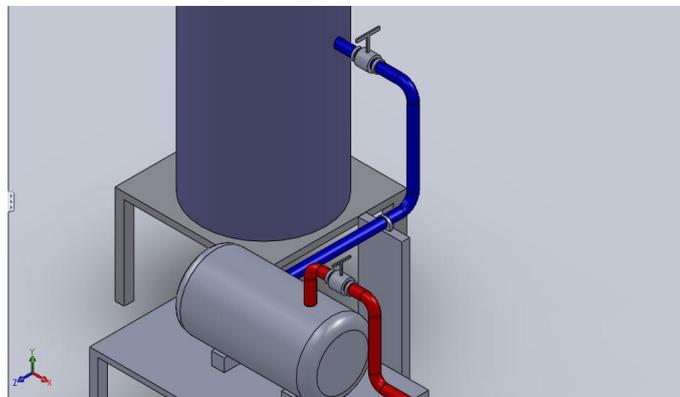
**Gambar 7.** Model SOLIDWORKS Pipa Jalur 1 (Warna Hijau)



**Gambar 8.** Model SOILIDWORKS Pipa Jalur 2 (Warna Kuning)

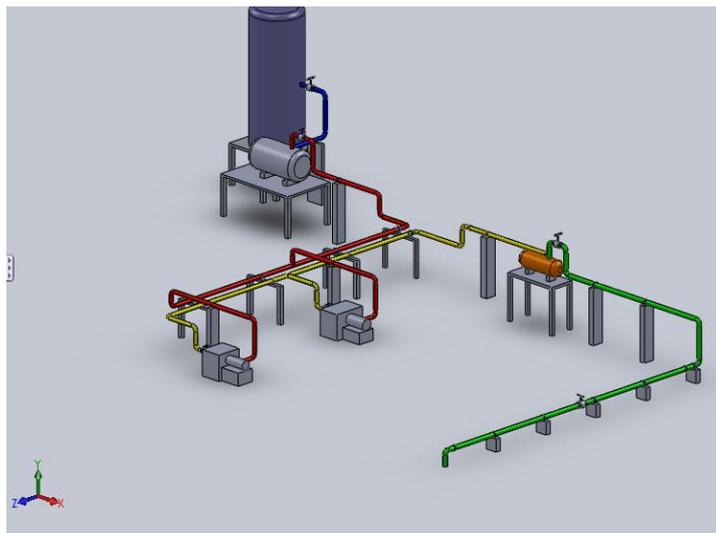


**Gambar 9.** Model SOLIDWORKS Pipa Jalur 3 (Warna Merah)



**Gambar 10.** Model SOLIDWORKS Pipa Jalur 4 (Warna Biru)

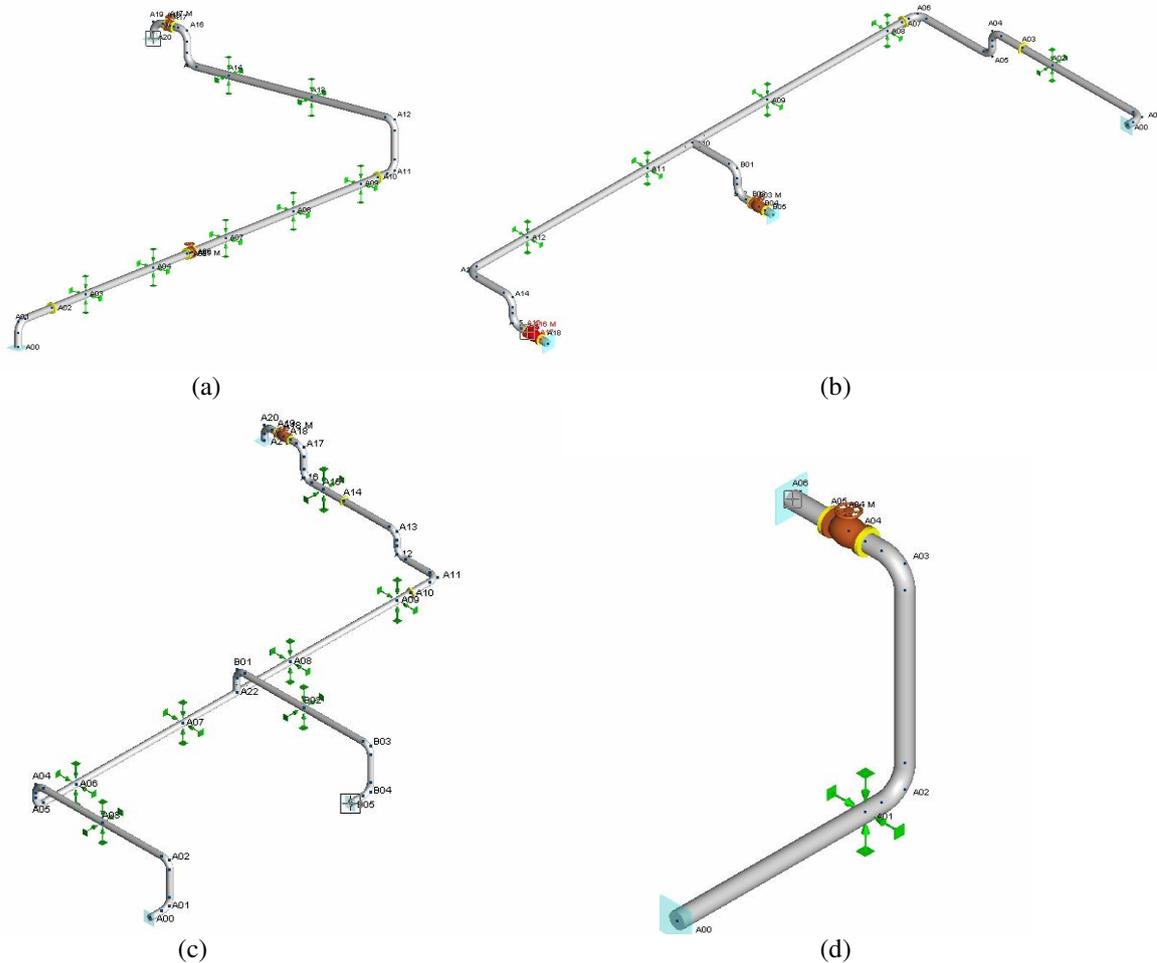
Gambar 11 memperlihatkan hasil rancangan total dari sistem perpipaan *Condensate Recovery Plant* lengkap dengan *vessel*, *compressor* dan *support* dalam bentuk model SOLIDWORKS.



**Gambar 11.** Model SOLIDWORKS Keseluruhan dari *Condensate Recovery Plant*

## 2.5. Model AUTOPIPE Sistem Perpipaan

Model Sistem perpipaan dibuat dengan menggunakan *software* AUTOPIPE supaya bisa dilakukan analisa tegangan pada model sistem perpipaan. *Software* AUTOPIPE adalah *software* analisa tegangan pipa yang cukup praktis dan bagus, serta mampu memberikan hasil yang akurat. Dengan AUTOPIPE bisa dilakukan analisa tegangan statis dan dinamis, dengan fitur-fitur yang cukup lengkap dan komponen-komponen sistem perpipaan yang mampu dimodelkan dengan tepat. Analisa Tegangan pipa pada AUTOPIPE ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Gambar 12 memperlihatkan model AUTOPIPE dari masing – masing jalur pipa.



**Gambar 12.** Model AUTOPIPE (a) Pipa Jalur 1, (b) Pipa Jalur 2, (c) Pipa Jalur 3, (d) Pipa Jalur 4

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil permodelan sistem perpipaan yang dilakukan dengan *Software* AUTOPIPE kemudian dianalisa dengan menggunakan *software* AUTOPIPE pula. Analisa yang dilakukan adalah analisa statis sehingga menghasilkan data berupa tegangan *sustained*, tegangan *occasional* (akibat beban angin), tegangan ekspansi termal dan tegangan *hoop* pada sistem perpipaan. Beban angin yang digunakan sesuai dengan standar ASCE untuk angin dengan kecepatan 85 mph di ketinggian 33 feet dan *exposure* C. Angin ini mengarah pada sumbu X dari pipa. Besar tegangan tersebut akan dibandingkan dengan besar tegangan *allowable* yang diperbolehkan pada material pipa tersebut sesuai dengan standar ASME B 31.3 *Process Piping* sehingga menghasilkan rasio tegangan. Jika nilai rasio tegangan kurang dari satu, atau dengan kata lain tegangan yang bekerja kurang dari besar tegangan *allowable*, maka sistem perpipaan tersebut dinyatakan aman dan bisa digunakan.

Perancangan ulang akan dilakukan pada sistem perpipaan jika hasil rancangan memiliki kapasitas yang terlalu berlebihan atau *overcapacity*. Hal ini bisa dilakukan dengan melakukan pengurangan ketebalan pipa atau menambah jarak *span* antar *support* yang menyangga pipa sehingga mengurangi jumlah *support* yang terpasang. Pengurangan kapasitas sistem perpipaan ini akan menghasilkan tegangan operasi yang berbeda dengan perancangan awal sebelumnya. Selama tegangan yang bekerja tidak melebihi tegangan izin dari material, rancangan ulang ini bisa diterima dan aman untuk digunakan.

Hasil analisa Tegangan untuk rancangan awal jalur pipa ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Analisa Tegangan Rancangan Awal Pipa *Condensate Recovery Plant*

Nama Tegangan Maks	Pipa Jalur 1 (Psi)	Pipa Jalur 2 (Psi)	Pipa Jalur 3 (Psi)	Pipa Jalur 4 (Psi)
Tegangan <i>Sustained</i>	4091	3841	7559	4058
Tegangan Sus + Angin	4514	3841	8029	4198
Tegangan Termal	1045	486	4732	1061
Tegangan <i>Hoop</i>	3309	2656	11106	6304

Hasil analisa ini memperlihatkan tegangan kerja yang masih cukup jauh dari titik tegangan izin material ASTM A-106 *grade B* yang sebesar 20000 Psi. Oleh karena itu dilakukan perbaikan rancangan dengan menambah panjang *span* (mengurangi jumlah *support*) dan mengurangi ketebalan pipa sehingga didapatkan rancangan yang lebih ekonomis. Hasil perubahan rancangan masing – masing jalur pipa diperlihatkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Perubahan Rancangan Jalur Pipa

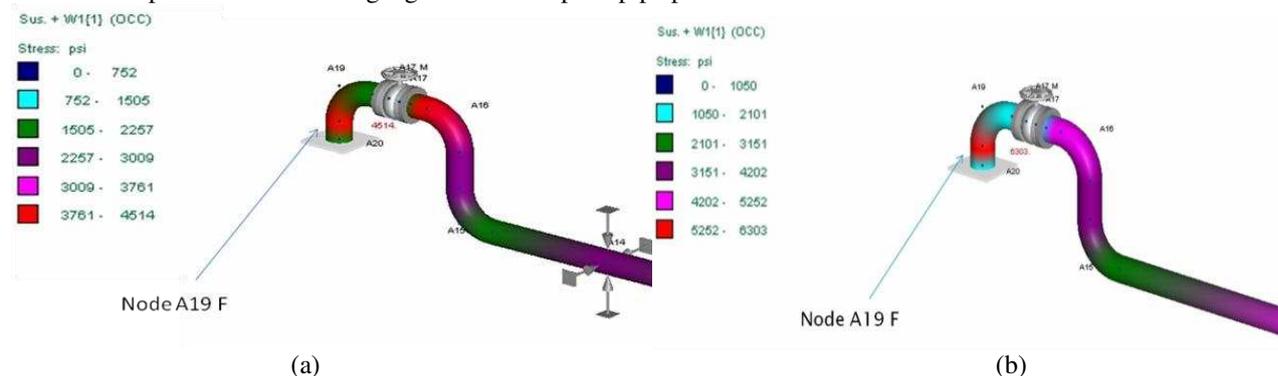
Nama Jalur Pipa	Diameter / Ketebalan Pipa (inchi)	Panjang Span (m) / Jumlah <i>Support</i>
Pipa Jalur 1	16 / 0,133	6 / 8
Pipa Jalur 1 Perbaikan	16 / 0,133	9 / 5
Pipa Jalur 2	14 / 0,156	8 / 5
Pipa Jalur 2 Perbaikan	14 / 0,156	10 / 4
Pipa Jalur 3	14 / 0,312	8 / 7
Pipa Jalur 3 Perbaikan	14 / 0,250	10 / 6
Pipa Jalur 4	14 / 0,188	5 / 1
Pipa Jalur 4 Perbaikan	14 / 0,156	5 / 1

Rancangan perbaikan pipa kemudian dianalisa dengan cara yang sama seperti pada rancangan sebelumnya sehingga dihasilkan data – data seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Analisa Tegangan Jalur Pipa Perbaikan

Nama Tegangan Maks	Pipa Jalur 1 Perbaikan (Psi)	Pipa Jalur 2 Perbaikan (Psi)	Pipa Jalur 3 Perbaikan (Psi)	Pipa Jalur 4 Perbaikan (Psi)
Tegangan <i>Sustained</i>	5886	4699	8307	4770
Tegangan Sus + Angin	6303	4699	8481	4936
Tegangan Termal	790	452	3430	1045
Tegangan <i>Hoop</i>	3309	2656	13888	7661

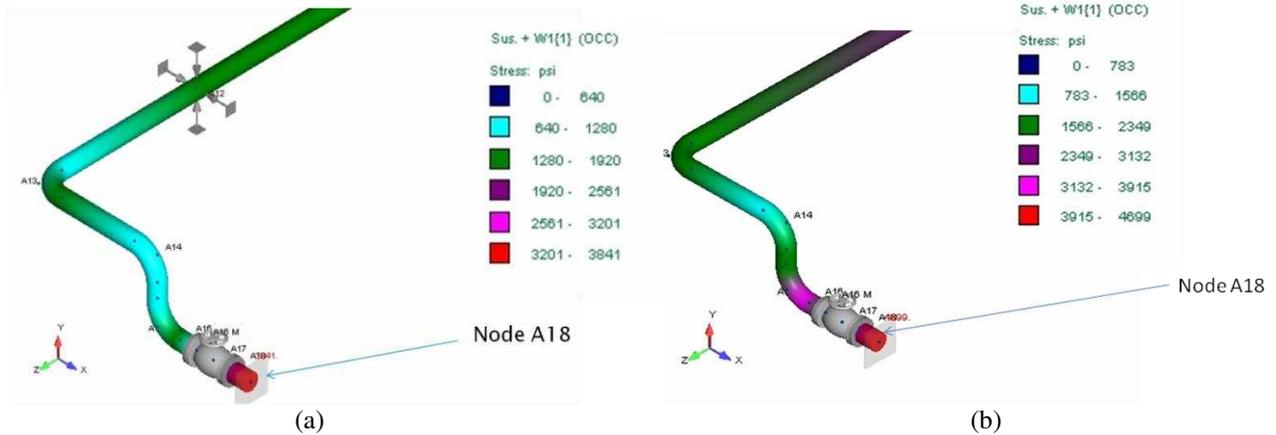
*Contour* hasil analisa tegangan pada pipa jalur 1 dan pipa perbaikan jalur 1 diperlihatkan pada Gambar 13 dimana memperlihatkan lokasi tegangan maksimal pada pipa pada *node A19 F* sebesar 4514 Psi dan 6303 Psi.



**Gambar 13.** Lokasi Tegangan Kritis (a) Pipa Jalur 1, (b) Pipa Perbaikan Jalur 1

Tegangan maksimal pada pipa jalur 1 disebabkan oleh beban *sustained* + angin dan terletak pada bagian *bend* dari pipa. Ini menunjukkan bahwa bagian *bend* adalah bagian yang harus jadi perhatian utama bagi para perancang pipa, terutama pada bagian *bend* yang dekat dengan *valve*. Hasil analisa juga memperlihatkan bahwa pengurangan panjang *span* mengakibatkan naiknya tegangan *sustained* dan menurunkan tegangan termal dari pipa.

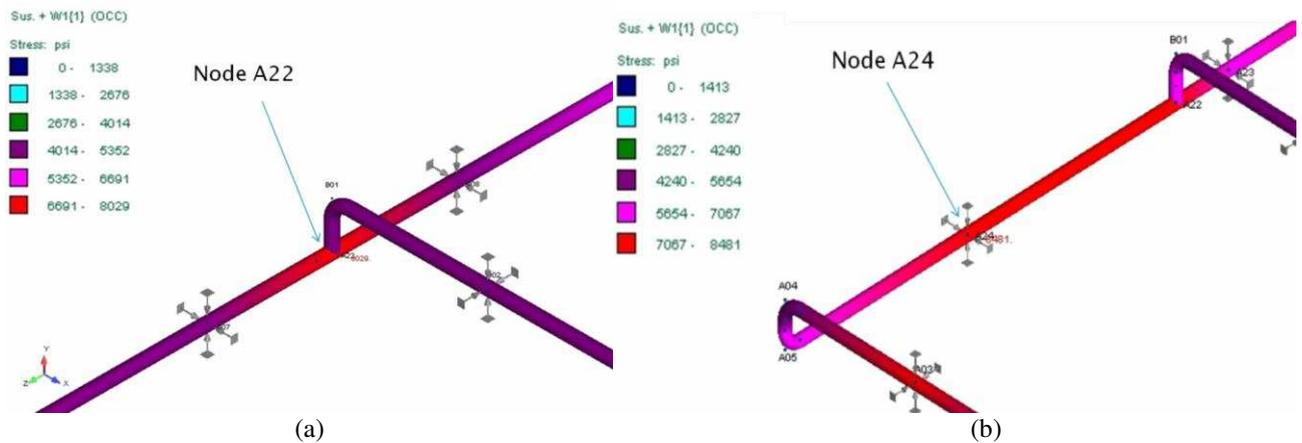
*Contour* tegangan untuk pipa jalur 2 dan pipa perbaikan jalur 2 diperlihatkan pada Gambar 14 dengan *node A18* sebagai titik lokasi tegangan maksimal.



**Gambar 14.** Contour Tegangan Kritis (a) Pipa Jalur 2, (b) Pipa Jalur 2 Perbaikan

Tegangan maksimal pada pipa jalur 2 disebabkan oleh beban *sustained* + angin dan terletak pada bagian *inlet compressor*. Ini menunjukkan bahwa bagian *inlet compressor* adalah bagian yang harus jadi perhatian utama bagi para perancang pipa, terutama pada bagian yang dekat dengan *valve* dan *anchor*. Hasil analisa juga memperlihatkan bahwa pengurangan panjang *span* mengakibatkan naiknya tegangan *sustained* dan menurunkan tegangan termal dari pipa. Selain itu pada *node A18* ini tidak terjadi penambahan tegangan akibat dari beban angin, sehingga besar tegangan *sustained* dan tegangan *sustained* + angin adalah sama. Ini disebabkan posisi *node A18* yang tidak terkena langsung dengan angin yang mengarah pada sumbu X. Hasil akan menjadi berbeda bila arah angin pada sumbu Y atau Z.

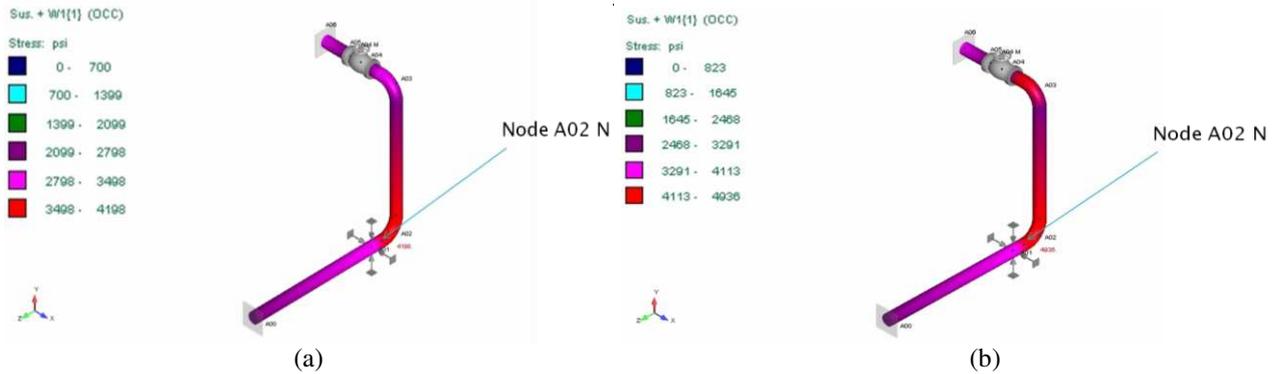
Contour tegangan untuk pipa jalur 3 dan pipa perbaikan jalur 3 diperlihatkan pada Gambar 15 dengan *node A22* dan *node A24* sebagai titik lokasi tegangan *sustained* + angin maksimal. Untuk pipa jalur 3 ini, tegangan maksimal berupa tegangan *hoop* yang memiliki besar merata sepanjang pipa. Oleh karena itu untuk memperlihatkan titik dengan potensi kegagalan tinggi, diperlihatkan *contour* tegangan maksimal urutan kedua setelah tegangan *hoop*, yaitu tegangan *sustained* + angin.



**Gambar 15.** Contour Tegangan Kritis (a) Pipa Jalur 3, (b) Pipa Perbaikan Jalur 3

Tegangan maksimal pada pipa jalur 3 adalah tegangan *hoop*. Setelah itu didapatkan tegangan *sustained* + angin maksimal. Lokasi tegangan *sustained* + angin maksimal ini terletak pada bagian *tee* (pipa jalur 3) dan bagian pipa yang disangga oleh *support* (pipa jalur 3 perbaikan). Ini menunjukkan bahwa modifikasi letak *support* dengan menambah panjang *span* mampu memindahkan lokasi tegangan maksimal yang sebelumnya ada pada *tee* pipa. Dapat diambil kesimpulan bahwa modifikasi letak tegangan maksimal pada pipa mampu dilakukan dengan perubahan letak *support*.

Contour tegangan kritis untuk pipa jalur 4 dan pipa perbaikan jalur 4 diperlihatkan pada Gambar 16 dengan *node A02 N* sebagai titik lokasi tegangan maksimal. Sama seperti pada pipa jalur 3, pada pipa jalur 4 didapatkan bahwa tegangan maksimal yang bekerja adalah tegangan *hoop* yang memiliki besar merata sepanjang pipa. Tegangan yang paling besar setelah tegangan *hoop* adalah tegangan *sustained* + angin.



**Gambar 16.** Contour Tegangan Kritis (a) Pipa jalur 4, (b) Pipa Perbaikan Jalur 4

Setelah dilakukan pengurangan ketebalan pipa pada pipa jalur 4 ini, maka didapat tegangan *hoop* yang meningkat diikuti dengan tegangan *sustained* + angin yang meningkat pula dari semula sebesar 4198 Psi menjadi 4936 Psi.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perancangan sistem perpipaan *process plant* dengan menggunakan standar ASME B31.3 *Process Piping* telah dilakukan dengan hasil berupa empat jalur pipa untuk *condensate recovery plant* yang memproses fluida gas alam. Pipa Jalur 1 *Feed Gas – Three Phase Separator* dengan berat total 7750,7 lb, menggunakan material pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Grade B* dengan diameter pipa 16 inci dan ketebalan pipa 0,165 inci (*Schedule 5S*). Pipa Jalur 2 *Three Phase Separator – Compressor* dengan berat total 6622,9 lb, menggunakan material pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Grade B* dengan diameter pipa 14 inci dan ketebalan pipa 0,156 inci (*Schedule 5S*). Pipa Jalur 3 *Compressor – Gas Cooler* dengan berat total 10427,1 lb, menggunakan material pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Grade B* dengan diameter pipa 14 inci dan ketebalan pipa 0,250 inci (*Schedule 10*). Pipa jalur 4 *Gas Cooler – Scrubber* dengan berat total 2072 lb, menggunakan material pipa *Carbon Steel ASTM A-106 Grade B* dengan diameter pipa 14 inci dan ketebalan pipa 0,156 inci (*Schedule 5S*). Dari hasil analisa tegangan sistem perpipaan *process plant* dengan metode elemen hingga, didapatkan besar tegangan *sustained* maksimal dan Tegangan Ekspansi Termal maksimal pada Pipa Jalur 1 *Feed Gas – Three Phase Separator* sebesar 5886 Psi dan 790 Psi, Pipa Jalur 2 *Three Phase Separator – Compressor* sebesar 4699 Psi dan 452 Psi, Pipa Jalur 3 *Compressor – Gas Cooler* sebesar 8307 Psi dan 3430 Psi serta Pipa Jalur 4 *Gas Cooler – Scrubber* sebesar 4770 Psi dan 1045 Psi. Hasil analisa tegangan memperlihatkan bahwa tegangan yang bekerja pada pipa hasil rancangan ini masih dibawah batas tegangan izin dari material pipa yaitu sebesar 20000 Psi. Perubahan rancangan dengan menambah panjang *span* dan mengurangi jumlah *support* mampu menaikkan tegangan *sustained* pada pipa dan menurunkan tegangan ekspansi termal pada pipa.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Ikoku, C.U., 1992, “*Natural Gas Production Engineering*,” Krieger Publishing Company, Florida.
- [2] Kannapan, S., 1986, “*Introduction To Pipe Stress Analysis*,” Wiley, Tennessee.
- [3] ASME B 31.3., 2006, “*Process Piping*,” American Society Of Mechanical Engineering, New York.