



**ANALISIS BEBAN STATIS PADA PIPA PEMBUANG UAP  
DI STASIUN PEMBANGKIT UAP 5S BLOCK AREA-1  
PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA  
DENGAN PROGRAM CAESAR II**

**Iman Satria**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta  
Jalan. Gajahmada No. 19, Olo Nanggalo, Padang 25143  
Telp. (0751) 7054257, Fax. 7051341  
[extro\\_imanr@yahoo.com](mailto:extro_imanr@yahoo.com)

**Abstrak**

*Kegagalan yang tidak terprediksi suatu instalasi perpipaan di stasiun pembangkit uap dikarenakan tidak meratanya tegangan yang terjadi pada pipa distribusi maupun penyangga pipa akan berakibat fatal dan mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit. Pemilihan jenis pipa, support serta tegangan sangatlah penting guna mencegah kebocoran yang terjadi akibat operasional yang tidak normal. Dalam penelitian ini dilakukan analisis tegangan pipa pembuang uap jika terjadi kondisi operasional yang tidak normal. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak CAESAR II. Acuan analisis yang digunakan adalah code ASME B31.1 yang mengatur tentang perencanaan untuk sistim pembangkit daya (Power Piping) Pemodelan sistem perpipaan didasarkan pada sistem pipa yang telah terpasang dan data-data yang ada di Laporan Analisis Keselamatan Kerja (LAKK) stasiun pembangkit uap di 5S Block Area-1 DSF-Duri. Adapun kondisi tidak normal diperhitungkan dalam analisis ini adalah dengan memasukkan data diluar operasional normal sebagaimana mestinya seperti memasukkan data temperatur dan tekanan yang melebihi kondisi normal. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada sistim di beberapa node atau titik menunjukkan telah melebihi batas yang diijinkan. Ini berarti sistim perpipaan akan mengalami kegagalan jika terjadi kondisi operasional yang tidak normal. Oleh karena itu perlu dilakukan langkah untuk mencegah dan modifikasi terhadap jalur perpipaan sistem pendingin tersebut agar nozel tidak menerima gaya yang berlebih. Dengan melepas dan/atau memindahkan penyangga pipa titik (node) yang mengalami kegagalan. Dengan cara demikian sistim perpipaan pembuangan uap akan aman jika terjadi kondisi operasional yang tidak normal.*

*Kata kunci : perpipaan, sistem pembuang uap, temperatur, tekanan, node*

**I. PENDAHULUAN**

Minyak bumi merupakan salah satu material penting yang menunjang kebutuhan dan kelangsungan hidup manusia saat ini, minyak bumi berperan penting dalam setiap kegiatan

Padang, 14 November 2012

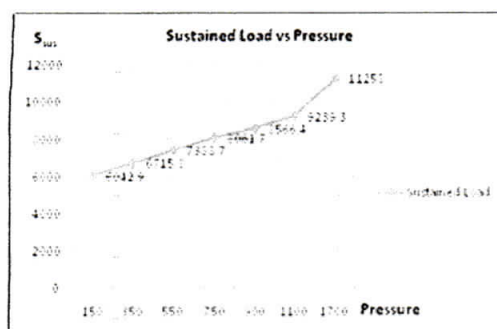


manusia yang berhubungan dengan mesin, pembangkit, pabrik, kendaraan, bahkan kebutuhan rumah tangga. Minyak bumi terbentuk berjuta-juta tahun yang lalu pada cekungan atau basin yang diisi oleh kehidupan organisme laut, baik hewan maupun tumbuhan mikro seperti plankton. Minyak bumi terjadi melalui pengendapan dan pematangan oleh panas bumi serta adanya akumulasi dari proses tersebut sehingga akan terurai dan membentuk senyawa Hidrokarbon. Senyawa inilah selanjutnya dikatakan sebagai minyak bumi.

DSF (Duri Steam Flood) merupakan salah satu lapangan minyak bumi terbesar di Indonesia yang menghasilkan minyak mentah. Setiap hari lapangan minyak ini menghasilkan ± 180.000 barrel minyak mentah yang siap didistribusikan dan siap dipasarkan. Minyak mentah ini dikategorikan sebagai minyak berat yang mempunyai ciri khas dan karakteristik yang berbeda dengan minyak mentah pada umumnya. Selain mempunyai nilai kekentalan (*viscosity*) yang tinggi, minyak mentah ini memerlukan penanganan khusus agar bisa diproduksi.

Salah satu penanganan khusus yang diperlukan untuk memproduksi minyak berat ini adalah dengan menyuntikkan uap basah ke dalam sumur injeksi. Upaya penyuntikkan uap basah ini guna menurunkan nilai kekentalan dari minyak berat agar lebih mudah dipompakan dan didistribusikan sehingga produksi minyak meningkat. Hal yang berkaitan dengan usaha tersebut adalah tidak lepasnya peran dari stasiun pembangkit uap (*Steam Station*) sebagai tempat untuk memproduksi uap basah yang siap didistribusikan dan siap disuntikkan ke dalam perut bumi.

Boiler atau Steam Generator merupakan ketel uap yang biasa digunakan untuk menghasilkan uap, dimana uap tersebut digunakan diluar pesawatnya. Steam Generator yang dioperasikan di lapangan Duri di desain untuk menghasilkan uap dengan kualitas 80% maksimal uap basah, sedangkan 20% masih berupa air. Uap yang dihasilkan oleh boiler tersebut didistribusikan menggunakan pipa baja (*Distribution Line*) mulai dari stasiun pembangkit uap sampai dengan kepala sumur penyuntik uap. Sebanyak ± 3.650 barrel air per hari dirubah menjadi uap oleh setiap unit steam generator. Pipa-pipa distribusi dari Steam Generator yang terdiri dari pipa *incoming water pipe line* untuk mendistribusikan soft water ke stasiun pembangkit uap, radian (*Radiant Coil*), Pipa Konveksi (*Convection Coil*), dan Pipa Pembuang Sisa Uap-air (*Blowdown Coil/Pipe*). Pipa-pipa tersebut berperan penting dalam mendukung kelangsungan operasi pada Steam Station untuk menghasilkan uap yang dibutuhkan dan siap didistribusikan untuk mendukung proses produksi minyak mentah.



Gambar 1. Sustained Load vs Pressure pada Kondisi Normal Operasional



Untuk mencapai tujuan keselamatan yang tinggi, maka suatu stasiun pembangkit uap dirancang dengan ketelitian yang tinggi serta memenuhi code dan standar yang berlaku di Indonesia maupun Code atau Standar yang berlaku di Amerika ataupun secara Internasional. Selain itu program jaminan kualitas telah dimulai sejak dini yaitu sejak perancangan pembangunan stasiun pembangkit uap.

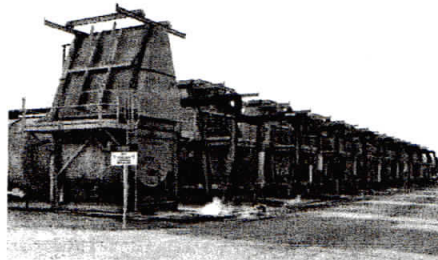
Stasiun pembangkit uap dibangun dengan perhitungan mengenai jaminan keselamatan yang tinggi menghadapi malfungsi dan kegagalan suatu sistim atau komponen yang ada didalamnya. Analisis kecelakaan perlu dilakukan sedini mungkin mulai dari tahap perancangannya. Peraturan perpipaan tegangan B.31 (dan penggantinya, seperti ASME Boiler dan peraturan perpipaan nuklir Pressure Vessel Section III) menentukan persyaratan desain, material, pembuatan, perakitan, pembangunan, tes dan inspeksi minimum untuk sistim perpipaan pembangkit tenaga, pengilangan/petrokimia, bahan bakar gas, transmisi gas dan aplikasi-aplikasi nuklir. Suatu sistim pipa steam/uap yang akan dirancang pada akhir tahap perancangannya perlu dilakukan analisis beban/tegangan sehingga seluruh sistim pipa yang ada dapat dioperasikan secara aman. Stasiun pembangkit uap memiliki beberapa jalur pipa yang dioperasikan, mulai dari pipa air sebagai jalur transmisi air sebagai bahan uap, jalur pipa gas sebagai bahan bakar pembangkit uap, dan sistim atau jalur pipa blowdown sebagai jalur pipa membuang uap.

Dari semua pipa tersebut akhir-akhir ini sering terjadi kebocoran di pipa blowdown dan sudah banyaknya pipa yang terkikis akibat terjadinya gesekan antara dinding luar pipa dengan support atau penunjang pipa tersebut. Untuk itu analisis beban diperlukan untuk mengetahui apakah sistim pipa yang dirancang masih sesuai dengan rancangan awal, dan sesuai dengan kode atau standar yang berlaku saat ini.

## II. LANDASAN TEORI

### Boiler dan sistim perpipaannya

Boiler (*Steam Generator*) adalah pesawat uap yang dibuat untuk menghasilkan uap air, dimana uap tersebut digunakan diluar pesawatnya (*UU Uap tahun 1933*). Untuk unit kerja Chevron, tipe boiler yang digunakan di desain untuk menghasilkan 80% kualitas uap air pada suatu tekanan *discharge* tertentu dengan tipe horizontal. Boiler dengan kapasitas 50 MMBTU/H biasanya digunakan untuk aplikasi *steamflood*. Dengan boiler ini dapat dihasilkan uap  $\pm 3650$  barrel per hari, karena untuk menjaga kestabilan dan fleksibilitas dari kenaikan laju aliran, satu unit boiler didesain untuk menghasilkan  $\pm 3100$  barrel uap air equivalen per hari.



Gambar 2. Stasiun Pembangkit Uap dan Steam Generator (Boiler)

Padang, 14 November 2012



Aplikasi dari penggunaan boiler diladang minyak Duri ini adalah untuk menurunkan kekentalan minyak berat, dimana uap yang dihasilkan siap disuntikkan ke dalam reservoir dan diharapkan minyak dapat diproduksi dengan maksimal. Sebagaimana diketahui penggunaan pipa baja sebagai alat transportasi dari uap banyak digunakan dalam operasi penyuntikan uap ke dalam reservoir. Namun akhir-akhir ini kendala sering terjadi ketika uap akan disuntikkan ke dalam reservoir, seperti timbulnya kebocoran pada pipa distribusi maupun pada pipa pembuang sisa uap-air.

### Sistem Pipa Blowdown

Sistem pipa blowdown yang akan dilakukan adalah sistim pipa pengendali volume dan air panas ataupun uap basah boiler di stasiun pembangkit uap (steam station). Pipa yang digunakan harus mengacu kepada desain dan perhitungan yang sesuai dengan standar *ASME B31.1*. Pipa Daya, Code dan Standar, tapi tidak terbatas pada *ASME B31.3* Pemrosesan Pipa, dan *ASME B31.8* Transmisi Gas dan Distribusi. Di dalam sistim operasi boiler yang ada di stasiun pembangkit uap, pipa blowdown mempunyai fungsi sebagai :

1. Membuang sisa uap-air yang terkandung didalam pipa
2. Mencegah terjadinya steam hammer pada saat boiler pertama kali dihidupkan karena belum terbentuknya uap di pipa distribusi
3. Mengurangi penggunaan air, bahan bakar dan perlakuan kimiawi
4. Mengurangi biaya perawatan dan perbaikan
5. Uap yang lebih efisien dan bersih
6. Mengurangi biaya operasi (pengurangan pada konsumsi bahan bakar, perlakuan kimiawi dan *heat loss*)
7. Meminimalkan energi loss hingga 2 % dari total kebutuhan energi yang diperlukan.

Material perpipaan untuk alat pembangkit air pasokan dan pipa uap di stasiun pembangkit uap Chevron Pacific Indonesia mengacu kepada *ASME B36.10M*, dan panjang acak ganda. Selain itu juga penting untuk di hidrotest dan sesuai dengan ASME Section 1, ASME B31.1 ataupun ASME B31.3.

### Beban-Beban pada Sistem Perpipaan

Tipe beban pada sistem perpipaan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### a. Beban *sustain*

Beban *sustain* adalah beban yang dialami oleh pipa secara terus-menerus. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dan berat pipa sendiri. Berat yang dialami oleh sistem perpipaan dapat digolongkan menjadi dua jenis:

- *Live Load*, adalah beban fluida yang mengalir melalui pipa.
- *Dead Load*, meliputi berat komponen, berat isolator, dan beban permanen lain yang bekerjapada sistem perpipaan tersebut.

#### b. Beban ekspansi (*Expansion Load*)

Beban ekspansi adalah beban yang timbul akibat ekspansi termal dan atau akibat *displacement* yang dikenakan. Ekspansi termal dapat disebabkan:

- pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami ekspansi.



- perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga menimbulkan tegangan.
  - perbedaan koefisien ekspansi pipa yang dibuat dari dua logam yang berbeda
- Displacement dapat disebabkan oleh komponen yang melekat dan oleh pipa yang berhubungan
- c. Beban *occasional***  
 Beban *occasional* adalah beban yang jarang terjadi, biasanya merupakan beban dinamik, seperti angin dan gempa

**Code Asme B 31.1**

Sebagai acuan analisis perpipaan digunakan *code* milik persatuan insinyur Amerika untuk *power piping*, yaitu ASME B31.1. Dalam code ini terdapat rumus-rumus empiris yang berlaku untuk beban sustain, ekspansi, gabungan sustain dan ekspansi (Operasi), serta *occasional* sebagai berikut,

**a. Beban Sustain**

Tegangan(S) yang terjadi akibat beban *sustain* (tekanan, berat dan beban mekanik yang lain) dapat dinyatakan dengan sebagai berikut :

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n}\right) + 1000\left(\frac{0.75iM_a}{Z}\right) \leq 1.0S_h$$

**b. Kisaran Tegangan Ekspansi Termal**

Tegangan yang terjadi akibat adanya ekspansi (penjalaran) termal dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$S_E = 1000\left(\frac{iM_c}{Z}\right) \leq S_A + f(S_h - S_L)$$

**c. Beban Sustain dan Ekspansi Termal**

Tegangan akibat gabungan beban *sustain* dan beban ekspansi termal ( $S_s + S_E$ ), dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_s + S_E = \left(\frac{PD_o}{4t_n}\right) + 1000\left(\frac{0.75iM_a}{Z}\right) + 1000\left(\frac{iM_c}{Z}\right) \leq (S_s + S_a)$$

**d. Beban Occasional**

Tegangan yang terjadi akibat tekanan, berat, dan beban sustain yang lain dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\left(\frac{PD_o}{4t_n}\right) + 1000\left(\frac{0.75iM_a}{Z}\right) - 1000\left(\frac{0.75iM_b}{Z}\right) \leq K S_n$$

Dimana :

- P = Tekanan internal rancang [psi]
- $D_o$  = Diameter luar[in]
- $M_a$  = Momen akibat beban sustain [in-lbs]
- $M_b$  = Momen akibat beban *occasional* [in-lbs]



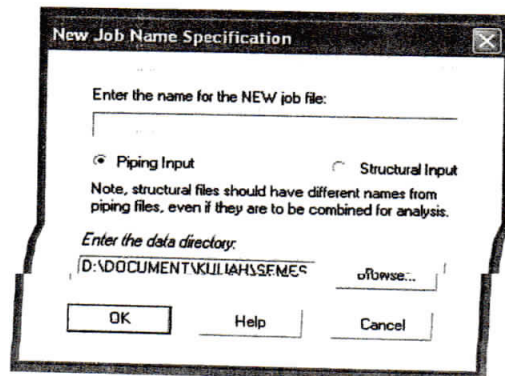
- $M_c$  = Range dari jumlah momen akibat ekspansi termal [in-lbs]  
 $Z$  = Modulus *section* pipa [ $\text{in}^3$ ]  
 $t_n$  = Tebal dinding pipa nominal [in]  
 $i$  = Faktor intensifikasi tegangan  
 $K$  = 1.15 untuk beban *occasional* yang bekerja kurang dari 1% periode operasi dan sama dengan 1.20 untuk beban *occasional* yang bekerja kurang dari 10% periode operasi.

### Analisis Tegangan Pipa dengan Program Bantu CAESAR II

CAESAR II adalah sebuah program computer yang digunakan untuk melakukan perhitungan analisis tegangan ( stress analysis ) pada sebuah sistem perpipaan. Program CAESAR II ini dibuat dan dikembangkan oleh COADE Engineering Software, yaitu sebuah perusahaan pembuat software khusus dibidang Mechanical Engineering yang sudah terkenal dan bermarkas di Houston, Amerika Serikat. CAESAR II adalah sebuah program yang merupakan alat untuk melakukan perencanaan dan perhitungan dari suatu piping sistem. Dalam proses tersebut, secara singkat para pengguna CAESAR II membentuk sebuah model dari piping sistem dan mendefinisikan beban yang terjadi padanya. Kemudian, berdasarkan input tersebut, CAESAR II mengolah data dan melakukan perhitungan untuk kemudian menampilkan hasil perhitungan untuk displacement, beban dan stress pada seluruh bagian dari sistim perpipaan.

Berikut akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan penting dalam pembuatan model sistim perpipaan dengan CAESAR II :

1. Untuk membuat model sistim perpipaan, terlebih dahulu harus dimasukan data awal yang digunakan untuk membuat model. Data awal yang dimasukan adalah penamaan file dan Code sistim perpipaan yang digunakan, satuan pemodelan, tekanan, temperatur operasi beserta data lengkap spesifikasi pipa yang akan dimodelkan.





Gambar 3. Penamaan File

2. Agar satuan baru ini efektif berlaku pada file job yang baru dibuat, maka harus di setting terlebih dahulu konfigurasi, sesuai dengan gambar dibawah.



Gambar 4. Konfigurasi Spesifikasi Pipa

3. Pembuatan model pada CAESAR II pemodelan akan dibuat menggunakan *component toolbar* yang dapat dipilih dengan berbagai macam tipe komponen untuk dimodelkan, seperti pipa lurus, belokan, katup, flens, nozzle, anchor, support dan komponen lainnya.
4. Memasukan data statis dilakukan dengan setelah kondisi yang akan di analisis, seperti tekanan kerja, temperatur kerja, ketebalan isolasi dan lain-lain telah ditentukan. Setelah kondisi ditentukan, maka analisis akan dilakukan berdasarkan data apa saja yang ingin dimasukkan dalam analisis. Analisis statis dimulai dengan melakukan proses yang disebut "error checking". Sebenarnya untuk analisis statis bisa langsung dilakukan dengan menekan tombol "batch run"  yang mempunyai symbol orang yang sedang berlari. Saat menekan tombol "error checking" , pada prinsipnya CAESAR II akan melakukan pemeriksaan terhadap inputan dan semua data yang telah dimasukkan sebelumnya. Jika mendapat pemberitahuan dari CAESAR II "Fatal Error" maka berarti inputan yang dilakukan dikhawatirkan hasil perhitungan akan sangat menyimpang dari code tab standard yang digunakan. Maka yang harus dilakukan adalah kembali ke bagian awal untuk memeriksa pemasukan data atau inputan yang dilakukan. Begitu tombol static analisis ditekan maka secara otomatis CAESAR II akan memeriksa apakah sudah ada load case dalam hitungan tersebut. Dalam perhitungan tersebut bisa dilakukan secara individual ataupun kombinasi dari load.

### III. METODOLOGI

Waktu analisis, pengambilan data dan pelaksanaan program CAESAR II dimulai dari 01 Pebruari 2011 sampai dengan 22 Juni 2011. Tempat pengujian dan Analisis Beban Statis diambil di Steam Station 5S Block Area-1 PT. Chevron Pacific Indonesia, Duri-Riau.

Waktu analisis, pengambilan data dan pelaksanaan program CAESAR II dimulai dari 01 Pebruari 2011 sampai dengan 22 Juni 2011. Tempat pengujian dan Analisis Beban Statis diambil di Steam Station 5S Block Area-1 PT. Chevron Pacific Indonesia, Duri-Riau.

### III. METODOLOGI

3. Pembuatan model pada CAESAR II pemodelan akan dibuat menggunakan *component toolbar* yang dapat dipilih dengan berbagai macam tipe komponen untuk dimodelkan, seperti pipa lurus, belokan, katup, flens, nozzle, anchor, support dan komponen lainnya.
4. Memasukkan data statis dilakukan dengan setelah kondisi yang akan di analisis, seperti tekanan kerja, temperatur kerja, ketebalan isolasi dan lain-lain telah ditentukan. Setelah kondisi ditentukan, maka analisis akan dilakukan berdasarkan data apa saja yang ingin dimasukkan dalam analisis. Analisis statis dimulai dengan melakukan proses yang disebut "error checking". Sebenarnya untuk analisis statis bisa langsung dilakukan dengan menekan tombol "batch run" yang mempunyai simbol orang yang sedang berlari. Saat menekan tombol "error checking", pada prinsipnya CAESAR II akan melakukan pemeriksaan terhadap inputan dan semua data yang telah dimasukkan sebelumnya. Jika mendapat pemberitahuan dari CAESAR II "Fatal Error" maka berarti inputan yang dilakukan dikawatirkan hasil perhitungan akan sangat menyimpang dari code tab standard yang digunakan. Maka yang harus dilakukan adalah kembali ke bagian awal untuk memeriksa pemasukan data atau inputan yang dilakukan. Begitu tombol static analisis ditekankan secara otomatis CAESAR II akan memeriksa apakah sudah ada load case dalam hitungan tersebut. Dalam perhitungan tersebut bisa dilakukan secara individual ataupun kombinasi dari load.

Gambar 4. Konfigurasi Spesifikasi Pipa





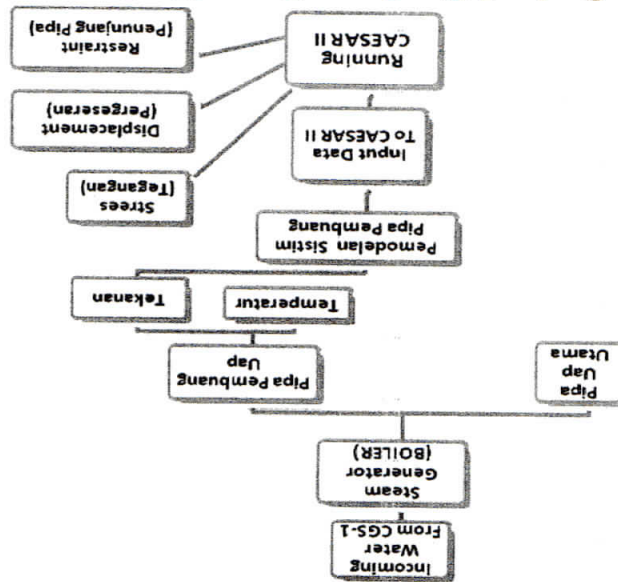
**Data Operasional Sitem Perpipaan Pembuang Sisa Uap Air**  
 Analisis tegangan pipa blowdown untuk boiler di stasiun pembangkit uap Steam Station 5S Block Area 1, CPI dilakukan menurut metoda sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan untuk memulai analisis tegangan
2. Melakukan review semua masukan data
3. Penentuan geometri dari sitem pipa untuk dimasukkan datanya ke program CAESAR II
4. Penentuan komponen-komponen dari pipa yang akan dimasukkan dalam analisis
5. Memasukkan data ke program CAESAR II
6. Menginstruksikan program CAESAR II untuk menganalisis data dan memberikan nilai dan hasilnya.

**Persiapan Bahan untuk Memulai Analisis Tegangan**  
 Beberapa yang harus dipersiapkan untuk memulai analisis dan memasukkan data pada perhitungan analisis tegangan pada pipa blowdown adalah sebagai berikut :

1. Gambar Isometri dari Pipa Blowdown
2. Layout Stasiun pembangkit uap
3. Gambar pipa dan instrumentasinya (P&ID)
4. ASME Boiler and Pressure Code Section III
5. ASME B31.1 Code untuk Pembangkit Energi
6. Program (Software) CAESAR II
7. Laptop atau Komputer

Gambar 5. Flow Process Pengambilan Data dan Analisis



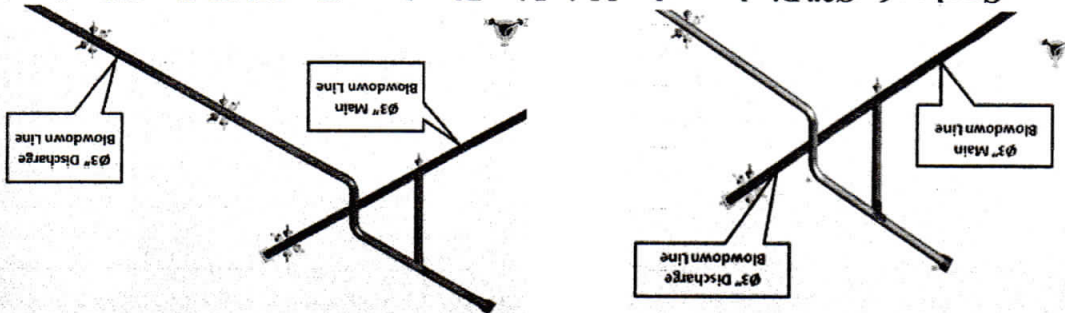
Sketsa Pengambilan Data dan Analisis

**Memerintahkan CAESAR II untuk Menganalisis dan Memberikan**  
Langkah terakhir pada program ini adalah memerintahkan program CAESAR II untuk menganalisis dan mengeluarkan hasil perhitungan, hasil dari perhitungannya dapat meliputi :

1. Semua data masukan (untuk pengecekan)
  2. Semua hasil perhitungan antara lain :
- Langkah terakhir pada program ini adalah memerintahkan program CAESAR II untuk menganalisis dan mengeluarkan hasil perhitungan, hasil dari perhitungannya dapat meliputi :
1. Panjang pipa, dari node sebelumnya ke node berikutnya dalam ruang tiga dimensi
  2. Sifat dari node seperti; pipa, reducer, flanges atau nozzle
  3. Seksi dari pipa (diameter nominalnya)
  4. Beban yang akan dikenakan pada node yang telah ditentukan temperatur dan tekannya
  5. Jenis alat penunjang atau support, jangkar (anchor), penahan (restraint), hanger, skewed restraint yang berada pada node tersebut.
- Bila semua data masukan sudah disiapkan, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data ke program CAESAR II. Mulai langkah demi langkah untuk membentuk dan memodelkan pipa dengan memasukkan titik atau node serta sifat-sifatnya yang harus dimasukkan dalam titik atau node tadi. Pada permulaan bisa dimulai dengan nomor node 5, kemudian tentukan koordinat untuk node pertama ini atau dianggap node pertama berada pada koordinat 0 (no). Untuk setiap node masukan data yang harus ditentukan, seperti keterangan dibawah ini :

#### Memasukkan Data ke Program CAESAR II

Gambar 6. Ø3" Discharge dan Main Line Blowdown (T = 350 °F, P = 130 psi)  
Gambar 7. Ø3" Discharge dan Main Line Blowdown (T = 550 °F, P = 550 psi)



**Pemodelan Sistem Perpindahan Pemanasan Uap Air Pada Beberapa Kondisi Operasional**

- a. Temperatur Operasional 350 °F, Tekanan 130 psi
- b. Temperatur Operasional 550 °F, Tekanan 550 psi

**Mereview Data untuk Memulai Analisis**

Semua data masukan yang diperlukan diatas harus diriview terlebih dahulu agar data yang dimasukan merupakan data yang valid. Data yang diperlukan sebagai data masukan untuk digunakan dalam menganalisis tegangan adalah sebagai berikut :

- Data jalur dan letak komponen pipa
- Material pipa yang digunakan, yaitu SA-106 Gr.B
- Diameter nominal pipa 3 dan 4 inch
- Pipa menggunakan schedule 80

Padang, 14 November 2012



Tabel 7 Expansion Load Maximum Pada Node 185

Tabel 6 Sustain Load Pada Node 930

Pembahasan analisis tegangan hanya dilakukan untuk kondisi temperature 350 F dan 550 F sedangkan untuk variasi temperature dan pressure yang lain disajikan dalam bentuk hasil berupa grafik hasil.

• CASE 1, pada saat boiler dimana pipa blowdown dioperasikan dengan temperatur 350°F dengan tekanan 150 psi, didapatkan data sesuai dengan Tabel. 6 dibawah ini yang menunjukkan :

Hasil Analisis Caesar II

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Semua data hasil perhitungan untuk sistim perpipaan steam dan blowdown pada saat dalam keadaan normal operasi dengan keadaan pemipaan blowdown difungsikan akan ditampilkan dalam hasil akhir yang dilakukan oleh CAESAR II.

- Displacements : 1 (OPE) W+T1+P1
- Displacements : 2 (SUS) W+P1
- Displacements : 3 (EXP) L3=L1-L2
- Restraints : 1 (OPE) W+T1+P1
- Restraints : 2 (SUS) W+P1
- Restraints : 3 (EXP) L3=L1-L2
- Stresses : 1 (OPE) W+T1+P1
- Stresses : 2 (SUS) W+P1
- Stresses : 3 (EXP) L3=L1-L2





Hasil analisis statik tegangan maksimum yang terjadi pada saat operasional dengan temperatur 350°F dan tekanan kerja 130 psi adalah sebagai berikut :

1. Untuk tegangan susain yang terjadi dihitung dengan pendekatan matematis secara manual di dapat :

A. Untuk kondisi dengan temperatur kerja 350°F dan tekanan kerja 130 psi yang terjadi di node 185, (ekspansion Stress  $S_E = 13841.6$  psi,  $S_A = 41475.4$  psi) Menurut ASME B31.1

$$\begin{aligned}
 S_A &= f(1.25 \times S_c + 0.25 \times S_n) \dots \dots \dots \text{ASME B31.1} \\
 &= 17100 \text{ psi}, f = 0.9818 \text{ data CAESAR II} \\
 S_A &= 0.9818(1.25 \times 17100 + 0.25 \times 17100) \\
 S_A &= 25183.17 \text{ psi} \quad S_L < S_A \\
 \text{Allowable} &= S_A + f(S_n - S_L) \\
 &= 25650 + 0.9818 \times (17100 - 508.1) \\
 &= 41473.09 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Node	Element	Stress	Code
185	18501	13841.6	B31.1
185	18502	13841.6	B31.1
185	18503	13841.6	B31.1
185	18504	13841.6	B31.1
185	18505	13841.6	B31.1
185	18506	13841.6	B31.1
185	18507	13841.6	B31.1
185	18508	13841.6	B31.1
185	18509	13841.6	B31.1
185	18510	13841.6	B31.1
185	18511	13841.6	B31.1
185	18512	13841.6	B31.1
185	18513	13841.6	B31.1
185	18514	13841.6	B31.1
185	18515	13841.6	B31.1
185	18516	13841.6	B31.1
185	18517	13841.6	B31.1
185	18518	13841.6	B31.1
185	18519	13841.6	B31.1
185	18520	13841.6	B31.1
185	18521	13841.6	B31.1
185	18522	13841.6	B31.1
185	18523	13841.6	B31.1
185	18524	13841.6	B31.1
185	18525	13841.6	B31.1
185	18526	13841.6	B31.1
185	18527	13841.6	B31.1
185	18528	13841.6	B31.1
185	18529	13841.6	B31.1
185	18530	13841.6	B31.1
185	18531	13841.6	B31.1
185	18532	13841.6	B31.1
185	18533	13841.6	B31.1
185	18534	13841.6	B31.1
185	18535	13841.6	B31.1
185	18536	13841.6	B31.1
185	18537	13841.6	B31.1
185	18538	13841.6	B31.1
185	18539	13841.6	B31.1
185	18540	13841.6	B31.1
185	18541	13841.6	B31.1
185	18542	13841.6	B31.1
185	18543	13841.6	B31.1
185	18544	13841.6	B31.1
185	18545	13841.6	B31.1
185	18546	13841.6	B31.1
185	18547	13841.6	B31.1
185	18548	13841.6	B31.1
185	18549	13841.6	B31.1
185	18550	13841.6	B31.1
185	18551	13841.6	B31.1
185	18552	13841.6	B31.1
185	18553	13841.6	B31.1
185	18554	13841.6	B31.1
185	18555	13841.6	B31.1
185	18556	13841.6	B31.1
185	18557	13841.6	B31.1
185	18558	13841.6	B31.1
185	18559	13841.6	B31.1
185	18560	13841.6	B31.1
185	18561	13841.6	B31.1
185	18562	13841.6	B31.1
185	18563	13841.6	B31.1
185	18564	13841.6	B31.1
185	18565	13841.6	B31.1
185	18566	13841.6	B31.1
185	18567	13841.6	B31.1
185	18568	13841.6	B31.1
185	18569	13841.6	B31.1
185	18570	13841.6	B31.1
185	18571	13841.6	B31.1
185	18572	13841.6	B31.1
185	18573	13841.6	B31.1
185	18574	13841.6	B31.1
185	18575	13841.6	B31.1
185	18576	13841.6	B31.1
185	18577	13841.6	B31.1
185	18578	13841.6	B31.1
185	18579	13841.6	B31.1
185	18580	13841.6	B31.1
185	18581	13841.6	B31.1
185	18582	13841.6	B31.1
185	18583	13841.6	B31.1
185	18584	13841.6	B31.1
185	18585	13841.6	B31.1
185	18586	13841.6	B31.1
185	18587	13841.6	B31.1
185	18588	13841.6	B31.1
185	18589	13841.6	B31.1
185	18590	13841.6	B31.1
185	18591	13841.6	B31.1
185	18592	13841.6	B31.1
185	18593	13841.6	B31.1
185	18594	13841.6	B31.1
185	18595	13841.6	B31.1
185	18596	13841.6	B31.1
185	18597	13841.6	B31.1
185	18598	13841.6	B31.1
185	18599	13841.6	B31.1
185	18600	13841.6	B31.1

$S_E = 508.1$  psi

$$\text{Ratio, \%} = (508.1 / 17100) \times 100\% = 2.9713 \% \text{ atau } 3 \%$$

Untuk ekspansion stress yang terjadi di node 185 adalah 13841.6 psi, dan allowable stress di node tersebut adalah 41475.4 psi.

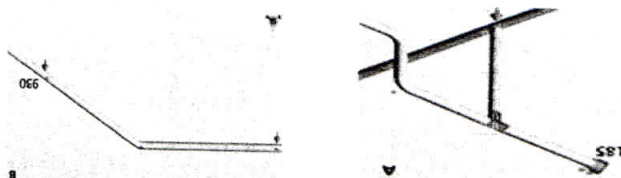
B. Allowable expansion stress range maksimum yang terjadi di node 930 Menurut ASME B31.1

$$\begin{aligned}
 S_A &= f(1.25 \times S_c + 0.25 \times S_n) \\
 &= 17100 \text{ psi}, f = 0.9818 \text{ data CAESAR II} \\
 S_A &= 0.9818(1.25 \times 17100 + 0.25 \times 17100) \\
 S_A &= 25183.17 \text{ psi} \quad S_L < S_A \\
 \text{Allowable} &= S_A + f(S_n - S_L) \\
 &= 25650 + 0.9818 \times (17100 - 6041.7) = 36507.03 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

2. Beban normal maksimal pada saat desain (W+TI+P1) terjadi di node 185 dengan beban sebesar 15848.2 psi, untuk beban normal maksimal pada saat dikenakan tekanan secara terus menerus (W+P1) terjadi di node 930 dengan beban 6046 psi dengan beban rasio sebesar 33.4% dari beban yang diinginkan.

1. Untuk tegangan susstain yang terjadi dihitung dengan pendekatan matematis secara manual
  2. Beban normal maksimal pada saat desain (W+T2+P2) terjadi di node 185 dengan beban sebesar 29201.3 psi, untuk beban normal maksimal pada saat dikenakkan tekanan secara terus menerus (W+P2) terjadi di node 930 dengan beban 7223.6 psi dengan beban rasio sebesar 39.9% dari beban yang diijinkan.
  3. Beban aksial maksimal atau beban yang terjadi sejajar dengan sumbu longitudinal pipa pada saat desain (W+T2+P2) terjadi di node 600 dengan beban sebesar 1330.5 psi, untuk beban aksial maksimal pada saat dikenakkan tekanan secara terus menerus (W+P1) terjadi di node 383 dengan beban 1725.6 psi.
  4. Beban bending akibat momen lentur maksimal terjadi di node 185 (Gambar. 28) dengan nilai 27643.8 psi pada saat operasi normal, dan pada saat dikenakkan tekanan yang terus menerus beban bending maksimal terjadi di node 930 dengan besarnya beban 5541.3 psi.
  5. Beban akibat momen torsi maksimal pada saat beroperasi normal terjadi di node 185 dengan besar beban 2538.9 psi, dan pada saat dikenakkan tekanan terus menerus terjadi di node 925 (Gambar. 28) dengan besar beban 594.7 psi.
- B. Beban normal maksimal pada saat dikenakkan tekanan terus menerus di node 930
- A. Beban normal maksimal pada saat desain di node 185

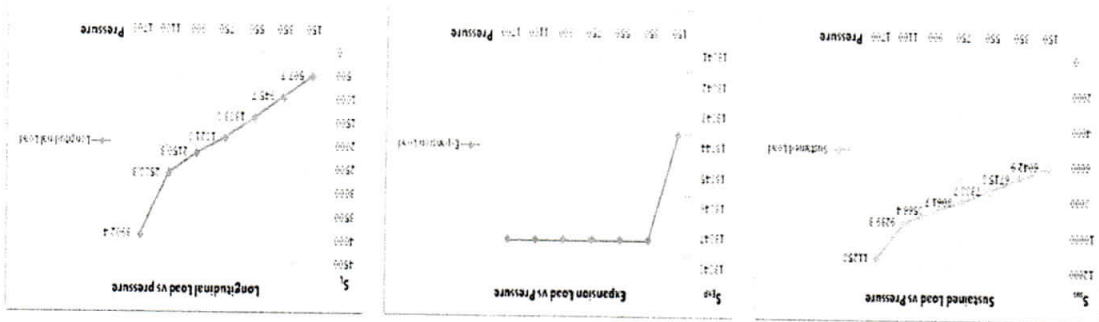
Gambar 8.



3. Beban aksial maksimal, atau beban yang terjadi sejajar dengan sumbu longitudinal pipa pada saat desain (W+T1+P1) terjadi di node 24 dengan beban sebesar 408.7 psi, untuk beban aksial maksimal pada saat dikenakkan tekanan secara terus menerus (W+P1) terjadi di node 340 dengan beban 562.8 psi.
  4. Beban bending akibat momen lentur maksimal terjadi di node 185 (Gambar. 28) dengan nilai 15276.6 psi pada saat operasi normal, dan pada saat dikenakkan tekanan yang terus menerus beban bending maksimal terjadi di node 930 dengan besarnya beban 5541.3 psi.
  5. Beban akibat momen torsi maksimal pada saat beroperasi normal terjadi di node 185 dengan besar beban 1393 psi, dan pada saat dikenakkan tekanan terus menerus terjadi di node 925 (Gambar. 28) dengan besar beban 594.7 psi.
  6. Dari data yang dihasilkan diatas besar beban normal yang terjadi tidak melebihi beban yang diijinkan (*Allowable Stress*) pada saat desain maupun pada saat beroperasi dengan tekanan 130 psi, maka pipa tersebut dinyatakan aman dan masih layak untuk dioperasikan.
- **CASE 2** Pada saat boiler dimana pipa blowdown dioperasikan dengan temperatur 550°F dengan tekanan 500 psi, didapatkan data sesuai dengan Tabel. 8 dibawah ini yang menunjukkan :



Gambar 10. Sustained Load vs Pressure, Expansion Load vs Pressure, Longitudinal Load vs Pressure

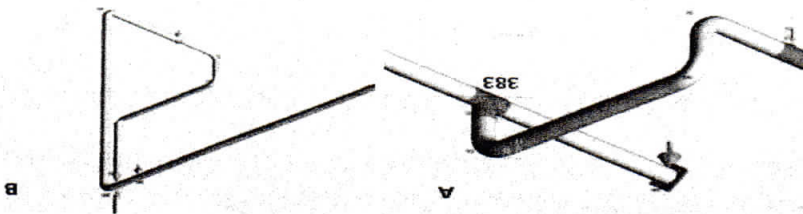


A. Grafik antara Sustained Load, Expansion Load, Longitudinal Load yang terjadi dalam variasi tekanan pada temperatur operasional 350 °F

Grafik tegangan yang terjadi pada saat operasional normal dan maksimal kondisi :

6. Perbedaan node untuk beban aksial maksimal yang dihasilkan dari analisis yang dilakukan CAESAR II, untuk temperatur dan tekanan operasional pertama dengan tekanan operasional kedua. Hal ini terjadi di sekitar elbow node 383 dan support dari pipa di node 600.
  7. Besar beban normal yang terjadi tidak melebihi beban yang diijinkan (Allowable Stress) pada saat desain dengan temperatur 550°F maupun pada saat beroperasi dengan tekanan 550 psi, maka pipa tersebut dinyatakan aman dan masih layak untuk dioperasikan sebesar 7219.3 (39.88% dari tegangan yang diijinkan sebesar 18100 psi)
  8. Beberapa data ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan melakukan perbandingan jika terjadi kondisi operasional yang tidak biasa atau normal, berikut grafik antara tegangan yang terjadi dibandingkan dengan temperatur dan tekanan yang berbeda.
- A. Beban normal maksimal pada saat desain di node 600
- B. Beban normal maksimal pada saat dikenakan tekanan terus menerus di node 383

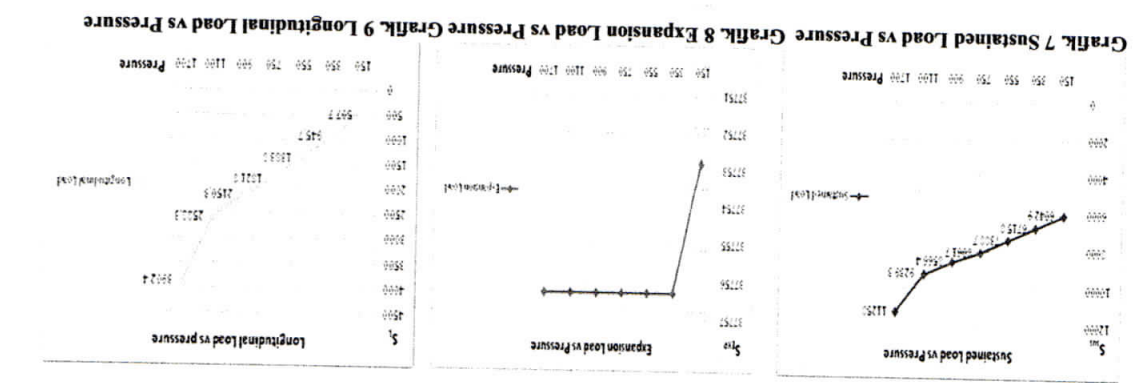
Gambar 9.



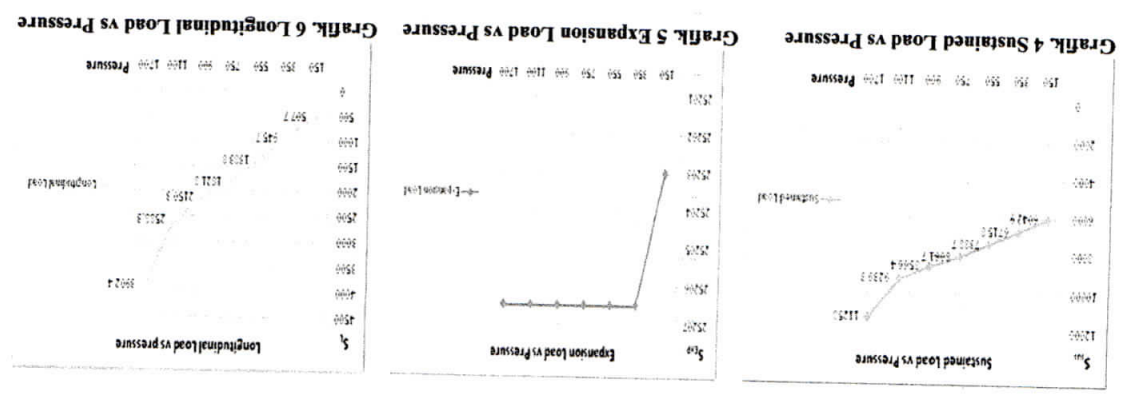
### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil analisis statis yang didapatkan, seperti Sustained Load, Operating Load dan Expansion Load dalam kondisi aman. Dimana nilai Fraksi tegangan maksimum yang terjadi pada sistem perpipaan blowdown dalam kondisi :
  - Temperatur dan tekanan operasional normal pada 350°F dan 130 psi fraksi tegangan yang terjadi sebesar 33,4% untuk beban sustain di node 930 dan 37% untuk beban ekspansi di node 185, nilai ini lebih kecil dari 100% allowable stress yang diijinkan.
  - Temperatur dan tekanan pada saat sistem beroperasi maksimal yaitu pada 550°F dan 500 psi, fraksi tegangan yang terjadi sebesar 39,9% di node 930 dimana beban diberikan



C. Grafik antara Sustain Load, Expansion Load, Longitudinal Load yang terjadi dalam variasi tekanan pada temperatur operasional 750 °F



B. Grafik antara Sustain Load, Expansion Load, Longitudinal Load yang terjadi dalam variasi tekanan pada temperatur operasional 550 °F

- ASME, *ANSI B31.1-2010* (Revision of ASME B31.1-2007)
- ASME B36.10M-2004 "Welded and Seamless Wrought Steel Pipe"
- Basavaraju, C., Kalavar, S.R., and Chern, C.Y., "Local Stresses in Piping at Integral Welded Attachment by Finite Element Method," PVP vol.235, Betchel Power Corporation
- Frederick, Maryland
- Susanto, Bambang Galung, 1993. "Analisis Beban (Stress) Sistem Pipa Pengendali Volume dan Kimiawi (CVS) Pendingin Reaktor Pada PLTN AP600", Program Studi Material Science Fakultas Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta
- Ismadi, Ir. Sabandi Ismail, Msc., dan Rachmat. Dr. Ir. Rudy., 29 September 2006. "Laporan Hasil Analisa Kegagalan Pipa Re-Heater Boiler Unit III PT. Indonesia Power UBP Suralaya" an. PT. Gamma Buana Persada, Jakarta
- Paul R. Smith, P.E and Thomas J. Van Laan, P.E, 1987. *Piping and Pipe Support System* (Design and Engineering). New York. McGraw-Hill Book Company.
- O&MC Team 2008. *MODUL 3 OPERATION*. Durti-Riau : HR-Sumatara.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Dari kedua hasil diatas mengindikasikan bahwa sistem pipa pembuang uap air masih dalam kondisi layak untuk pakai.
  2. Dari hasil perhitungan sistem perpipaan yang dilakukan oleh program CAESAR II dan perhitungan manual nilai bending stress ( $\sigma$ ), dan torsion stress ( $\tau$ ) sama, mengindikasikan program yang dijalankan CAESAR II sudah benar.
  3. Dari data grafik yang ditampilkan diatas diketahui bahwa untuk sustain load dan longitudinal load mempunyai nilai yang sama untuk semua kondisi temperatur dan tekanan kerja operasional yang dimaksudkan. Dapat disimpulkan bahwa temperatur dan tekanan akan berpengaruh terhadap perubahan dari ekspansion load operasional.
  4. Jika temperatur operasional yang dimaksudkan sama dengan atau lebih dari 750°F maka sistem akan terjadi failed, karena tegangan yang terjadi untuk ekspansion lebih dari allowable yang diijinkan.
- secara terus menerus (sustain), dan nilai fraksi masih jauh lebih kecil dari 100% Allowable Stress.

Padang, 14 November 2012



ISSN. 2087-2526

PROSIDING SEMINAR NASIONAL ReSaTek II-2012