

**ANALISA TEGANGAN SISTEM PERPIPAAN BONGKAR MUAT  
KAPAL TANKER MT. AVILA 6300 DWT  
DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CAESAR II v5.10.**

**Hartono Yudo**

**Program Studi S1 Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro**

**Abstract**

*Pipe stress analysis (piping stress analysis) is more directed to the analysis of flexibility and stress that occur as a result of the force and the expenses incurred pipe (system) in a state of work or ready (steady). In order, system can work optimally and safely in accordance with applicable standards. In this paper, using two modifications to reduce stresses that occurs in the loading and unloading piping system of MT. Avila 6300 DWT using software caesar II v5.10. First, modifications ware made is modification to eliminate overstress can be done by considering the distance by changing the type of support in accordance with the movement of the pipe that occurred (deflection). Second is modification ware made based on calculations of allowable pipe span formulas, then with the analysis by using software CAESAR II v5.10 we can compare and determine the best model of piping systems for MT. Ávila 6300 DWT tanker ship vessel.*

*Key words : System loading and unloading pipe, pipe stress, CAESAR II v5.10.*

## PENDAHULUAN

Kapal tanker adalah salah satu alat transportasi yang menggunakan sistem perpipaan yang sangat berperan penting dalam pengoperasiannya. Tanker merupakan jenis kapal yang di desain sedemikian rupa untuk mengangkut serta mendistribusikan bahan muatan cair berupa minyak, gas, bahan cair kimia dan muatan cair lain nya. Guna menunjang oprasional kapal jenis tanker ini membuat kapal ini memiliki banyak spesifikasi khusus baik dalam perencanaan, struktur bangunan, sistem-sistem yang berkerja, juga dalam kelasifikasinya.

Dikarenakan muatan yang diangkut oleh kapal tanker merupakan muatan cair (*fluida*) maka sistem bongkar muat pada kapal tanker menggunakan pipa dan pompa didalam suatu sistem perpipaan bongkar muat. Sistem perpipaan pada kapal tanker haruslah dapat beroperasi secara optimal, aman dan dengan konstruksi yang sederhana. Oleh karena itu, perhitungan dan perencanaan sistem perpipaan tersebut harus dilakukan dengan baik. Di Industri Perkapalan Indonesia perhitungan serta perancangan sitem-sistem vital seperti sistem perpipaan masih banyak dikerjakan oleh konsultan asing dan jarang di rencanakan bahkan di analisa oleh pihak galangan.

## TINJAUAN PUSTAKA

- **Stress categories**

1. Primary Stress

Primary Stress adalah jenis stress yang ditimbulkan akibat Sustained Load. Stress kategori ini dikelompokan dalam stress yang berbahaya (hazardous type of stress). Disebut berbahaya karena jika stress ini terjadi pada pipa dan melewati yield strength, maka akan mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material pipa, yang akhirnya dapat menimbulkan kecelakaan atau malapetaka.

Primary Stress terdiri atas komponen sebagai berikut :

- **Longitudinal Stress**

Yaitu stress yang terjadi akibat gaya dalam (axisl force) + gaya tekanan dalam (internal pressure) + tegangan lentur (bending stress).

$$S_L = S_{L1} + S_{L2} + S_{L3}$$

- $S_{L1}$  = Tegangan Longitudinal akibat gaya aksial

$$S_{L1} = F_{AX} \quad (PSI)$$

$$\overline{A_m}$$

- $S_{L2}$  = Tegangan Longitudinal akibat tekanan dalam

$$S_{L2} = \frac{P D_o}{4 t} \quad (\text{PSI})$$

- $S_{L3}$  = Tegangan Longitudinal akibat momen lentur

$$S_{L3} = \frac{D b}{Z} \quad (\text{PSI})$$

Besarnya Longitudinal Stress yang terjadi dibandingkan dengan Code Allowable Stress atau juga dikenal dengan nama Basic Allowable Stress pada temperatur operasi.

- **Hoop Stress (Circumferential Stress)**

Yaitu stress yang terjadi akibat gaya yang bekerja tegak lurus terhadap dinding pipa.

$$S_H = \frac{P d_o}{2 t} \quad (\text{PSI})$$

Formula Hoop Stress ini bias dikatakan sama untuk sepanjang dinding pipa. Sama halnya dengan Longitudinal Stress, Hoop Stress ini juga dibandingkan dengan Basic Allowable Stress pada temperatur operasi.

## 2. Secondary Stress

Secondary stress adalah stress yang diakibatkan oleh thermal load. Yaitu akibat temperatur fluida yang mengalir, yang menyebabkan pipa mengalami pemuaian atau pengkerutan (expansion or contraction). Pipa akan menerima apa yang disebut dengan *bending nature* yang bekerja pada penampang pipa yang bervariasi dari negative ke positive dan timbul karena terjadinya beda defleksi secara radial dari dinding pipa.

Secondary stress bukanlah sebagai penyebab terjadinya kegagalan material secara langsung akibat beban tunggal. Kalaupun terjadi stress yang melewati yield strength, maka efeknya hanyalah terjadinya "local deformation" yang berakibat berkurangnya

stress pada kondisi operasi. Hanya saja jika hal ini terjadi berulang-ulang (*cyclic*), maka akan timbul apa yang disebut “local strain range” yang berpotensi menjadi penyebab timbulnya **Fatigue Failure**.

Secondary stress ini disebut juga dengan Expansion Stress atau Displacement Stress Range,  $S_E$ . Komponen dari Expansion Stress ini adalah **Bending Stress ( $S_b$ )** dan **Torsional Stress ( $S_t$ )**.

$$S_E = \sqrt{(S_b^2 + 4 S_t^2)} \quad (\text{PSI})$$

Persamaan ini adalah berdasarkan teori geser maksimum (maximum shear theory), sedangkan besarnya Expansion Stress yang terjadi dibandingkan dengan apa yang disebut dengan Allowable Stress Range.

Adapun formula untuk masing-masing komponen adalah :

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{z} \quad (\text{PSI})$$

$$S_t = \frac{M_t}{2 z} \quad (\text{PSI})$$

## METODOLOGI

- **Penfumpulan Data**

1. Data Sekunder

Pengumpulan data dilakukan melalui survey ke beberapa bagian administrasi serta pihak proyek yang terkait dengan permasalahan studi. Adapun bagian yang telah disurvei adalah sebagai berikut :

- Mendapatkan data gambar Cargo Oil System untuk kapal MT. AVILA 6300 DWT pada bagian Project Manager.
- Mendapatkan Data equipment yaitu katalog pompa yang digunakan serta mengetahui tekanan kerja dari pompa.
- Data temperatur kerja pada asisten project bagian sistem kapal.
- Penjelasan dasar mengenai sistem pipa bongkar muat MT. AVILA 6300 DWT di lapangan.

## 2. Data Primer

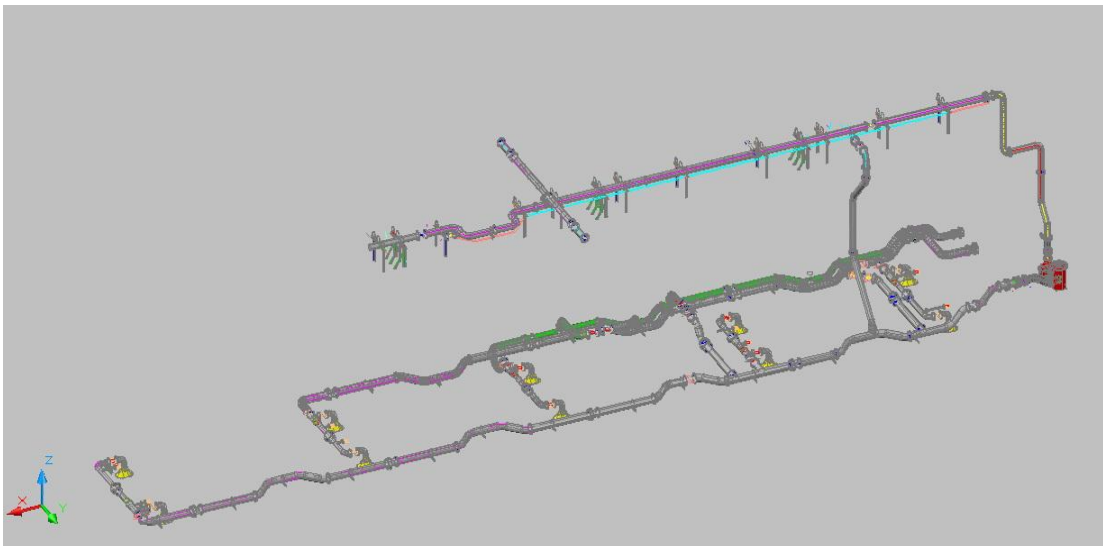
Pengambilan data primer didapat dengan meninjau secara langsung turun ke lapangan dan tak langsung pada bagian rancang bangun yang menyimpan arsip-arsip gambar, yang didapat antara lain :

- Pengukuran serta melihat secara langsung sistem pipa bongkar muat juga mendengarkan penjelasan mengenai kerja sistem bongkar muat pada kapal MT. AVILA 6300 DWT.
- Pengambilan data gambar, data pipa serta data equipment sistem perpipaan bongkar muat pada bagian rancang bangun.

Survey dilakukan dengan pengamatan langsung dilapangan (observasi) dan pengambilan data-data primer serta sekunder pada bagian project manager dan rancang bangun kantor PT. Dok dan Perkapalan Surabaya.

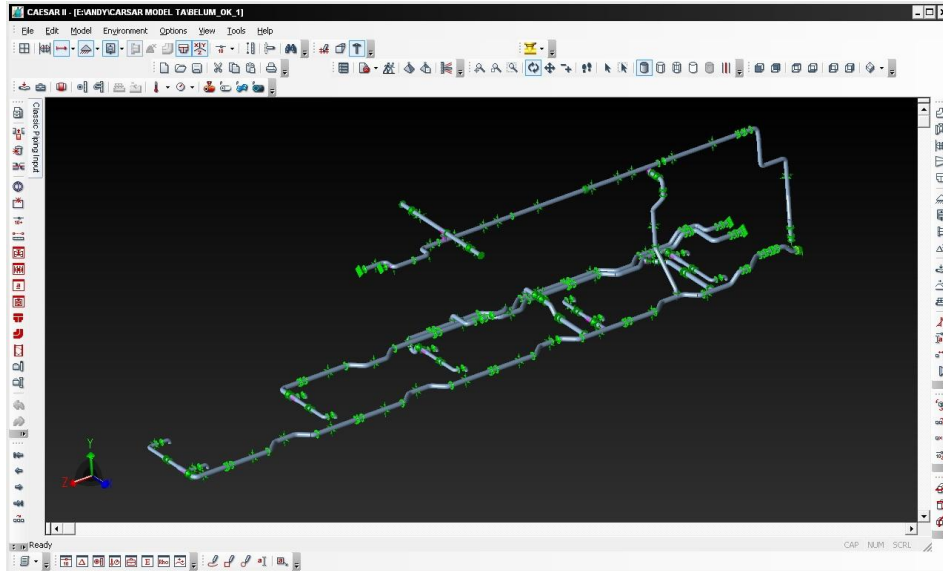
- **Pengolahan Data**

1. Penyusunan data (gambar) untuk mengetahui bentuk atau kondisi asli seluruh sistem perpipaan bongkar muat dengan menggambar kembali secara utuh dan dalam proyeksi 3 dimensi agar dapat dipahami kondisi aslinya untuk memudahkan dalam proses input serta olah data dengan menggunakan CAESAR II v5.10.



Gambar 1. layout 3 dimensi autocad

- Setelah didapati bentuk serta data material aslinya tahap berikutnya adalah meng-input data ke CAESAR II v5.10 untuk kemudian dilakukan running untuk melihat besarnya tegangan yang terjadi.



Gambar 1. 3 dimensi inputan CAESAR II v5.10

- Proses analisa dilakukan dengan melakukan dua modifikasi untuk kemudian dibandingkan dan ditentukan model sistem perpipaan yang baik, aman serta efisien untuk digunakan pada sistem perpipaan bongkar muat kapal tanker MT. AVILA 6300 DWT.

## HASIL ANALISA

- Dari hasil perhitungan stress dengan menggunakan CAESAR II v5.10 terhadap model desain awal berdasarkan dari data lapangan, diketahui bahwa terdapat lima titik nodal yang mengalami overstress pada case Operating dan Expansion dengan allowable stress 275784 KPa. Overstress pada case Operating terjadi pada nodal 950 stress yang terjadi 582283.1 KPa dan 320195.1 KPa, stress yang terjadi pada nodal 400 sebesar 346942.4 KPa dan 311563.8 KPa, dan pada nodal 250 stress yang terjadi 349995.8 KPa. Begitu juga pada case Expansion stress yang terjadi pada nodal 950 stress yang terjadi 573484.6 KPa dan 332234 KPa, stress yang terjadi pada nodal 400

- sebesar 358983.2 KPa dan 323603.4 KPa, dan pada nodal 250 stress yang terjadi 361952.9 KPa. Overstress yang terjadi pada perubahan arah atau percabangan, baik percabangan 2 arah juga percabangan 3 arah.
2. Modifikasi pertama dilakukan untuk menghilangkan overstress pada desain awal dengan cara memindahkan atau mengganti jenis support yang sesuai dengan kondisi yang terjadi pada titik tersebut atau pergerakan pipa yang terjadi. Setelah dilakukannya modifikasi pertama, didapat stress maksimum pada case Operating sebesar 250474.4 KPa pada nodal 829 dengan allowable stress 275784 KPa maka didapat factor keamanan 1.1, untuk case Sustained stress maksimum yang terjadi sebesar 31658,1 KPa pada nodal 15346 dengan allowable stress 110313.6 KPa maka didapat factor keamanan 3.48, dan pada case Expansion maksimum stress terjadi sebesar 255486.9 KPa pada nodal 829 dengan allowable stress 275784 KPa maka didapat factor keamanan 1.08. dari hasil running setelah dilakukannya modifikasi pertama pada case Operating, Sustained dan Expansion didapat factor keamanan lebih dari 1 maka model tersebut dapat dinyatakan aman.
  3. Modifikasi kedua dilakukan untuk mendapatkan jarak span yang sesuai dengan formula perhitungan allowable pipe span. Berdasarkan modifikasi jarak span, didapat 29 support yang dapat dihilangkan namun system perpipaan masih dapat beroperasi dengan aman. diantaranya 22 support yang berada didalam tanki muatan dan 7 support diatas exposed deck.
  4. Model awal yg didapat dari data yang didapat tidak dapat digunakan karena masih terdapat stress pada beberapa titik percabangan. Setelah dilakukan modifikasi pertama untuk menghilangkan stress yang terjadi model awal dan tidak terdapat lagi stress yang melebihi allowable stress maka model tersebut dapat dinyatakan aman. Dari modifikasi ke dua yaitu modifikasi jarak span dapat dilakukan pengurangan support sebanyak 29 support namun pengurangan support mengakibatkan fleksibilitas dan defleksi atau pergerakan pipa yang besar. Hal ini akan sangat berpengaruh pada perpipaan didalam kapal, karena ruang yang terbatas (sempit) didalam kapal mengakibatkan kemungkinan pipa akan berbenturan dengan equipmen lain atau bahkan dinding kapal.

## KESIMPULAN

Pergerakan pipa atau defleksi sangat dihindari untuk penggunaan pipa didalam kapal, karena ruang yang sempit atau bisa dikatakan pipa didesain mengikuti bentuk kapal yang mengakibatkan pipa banyak mengalami perubahan arah (percabangan), maka defleksi yang besar akan mengakibatkan pipa bersinggungan dengan material atau equipment bahkan badan kapal.

Allowable pipe span lebih berpengaruh atau berguna pada instalasi pipeline, karena instalasi pipeline yang biasa berjarak ratusan kilo meter dan sedapat mungkin dipasang lurus atau searah, dengan kata lain sedikit mengalami perubahan arah.

Pada sistem perpipaan bongkar-muat kapal tanker MT.AVILA 6300 DWT haruslah dilakukan modifikasi untuk menghilangkan overstress dan modifikasi jarak span yang hanya dapat dilakukan untuk pipa yang berada diatas exposed deck sesuai rumus atau formula allowable pipe span.

## DAFTAR PUSTAKA

1. AGUSTINUS, DONNY, 2009. "Pengantar Piping Stress Analysis", Entry Agustino Publisher, London – Jakarta.
2. ASME B 31.3, 2008. "Process Piping", An American National Standard.
3. CRAWFORD, J, 1981. "Marine and Offshore Pumping and Piping Systems", Butterworths, London.
4. DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL, 2003. "Pengetahuan jenis-jenis pompa dan sistem perpipaan", Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.
5. HALONG, 2006. "Standard for Ship Piping", Vinashin Group Halong Shipbuilding Company.
6. KANNAPPAN, S, 1986. "Introdution to Pipe Stress Analysis", A Wile-Interscience Publication, United States of America.
7. RASWARI, 2007. "Teknologi dan perencanaan sistem perpipaan", Penerbit Universitas indonesia,UI-PRESS. Jakarta.



8. WILEY, JOHN & SONS, 1976. "*Design of Piping Systems*", A Wheelabrator-Frye Company, New York.