

# **STUDI KASUS VIBRASI PADA SISTEM PERPIPAAN *MINIMUM FLOW BOILER FEED WATER***

Diajukan guna melengkapi sebagian syarat  
Dalam mencapai gelar Sarjana Strata Satu (S1)



UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**

DISUSUN OLEH :  
YOGIE MARADONA (41309120016)

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
PKSM UNIVERSITAS MERCUBUANA  
JAKARTA  
2011

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Yogie Maradona

N.I.M : 41309120016

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik Industri

Judul Skripsi : Studi Kasus Vibrasi Pada Sistem Perpipaan  
*Minimum Flow Boiler Feed Water*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keastiannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan atauran tata tertib di Universitas Mercu Buana.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Penulis,



Materai

(Yogie Maradona)



## LEMBAR PENGESAHAN

### Studi Kasus Vibrasi Pada Sistem Perpipaan *Minimum Flow Boiler Feed Water*

Disusun Oleh :

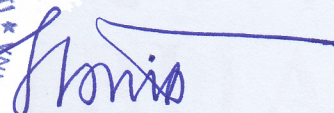
Nama : Yogie Maradona  
N.I.M : 41309120016  
Jurusan : Teknik Mesin

Pembimbing



(Dr.H. Abdul Hamid M. Eng)

Mengetahui,  
Koordinator Tugas Akhir/ Ketua Program Studi



(Dr.H. Abdul Hamid M. Eng)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Illahi Rabbi, yang dengan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan karya tulis yang berjudul “**Studi Kasus Vibrasi Pada Sistem Perpipaan Minimum Flow Boiler Feed Water** “. Karya tulis ini disusun sebagai syarat kelulusan program Sarjana Universitas Mercu Buana.

Pada kesempatan ini, tak lupa saya sampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua serta keluarga tercinta atas dukungan moril dan materil terutama doa restu yang diberikan kepada kami.
2. Dosen pembimbing : Bpk. Hamid dan Bpk. Yuriadi, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya dalam menyelesaikan karya tulis ini.
3. Bpk. Lukman serta Sdr. Luthfi, yang telah memberikan bantuan dan saran dalam menyelesaikan karya tulis ini.
4. Sdri. Avindy Faradea ( dea ) atas kebersamaannya dalam memberikan dorongan moril.
5. Dan semua pihak yang telah turut serta membantu.

Selama pembuatan karya tulis ini, saya menemui berbagai kendala dan kesulitan oleh karena itu kami menunggu saran dan kritik yang membangun. Saya berharap karya tulis ini dpat bermanfaat bagi pembaca umumnya dan saya sebagai penulis khususnya.

Bandung, Agustus 2011

Penyusun

# DAFTAR ISI

|  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| Halaman Judul  | i.             |
| Halaman Pernyataan   | ii.            |
| Halaman Pengesahan   | iii.           |
| Abstrak  | iv.            |
| Kata Pengantar   | v.             |
| Daftar Isi   | vi.            |
| Daftar Tabel   | vii.           |
| Daftar Gambar  | viii.          |
| Daftar Lampiran  | ix.            |
| Nomenklatur  | x.             |
| <br>   |                |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>   | <b>1</b>       |
| I.1 Latar Belakang Masalah   | 1              |
| I.2 Rumusan Masalah  | 4              |
| I.3 Pendekatan Penyelesaian Masalah  | 6              |
| I.4 Pembatasan Masalah dan Ruang Lingkup Kajian                                      | 9              |
| I.5 Tujuan Penulisan   | 10             |
| I.6 Pengumpulan Data   | 11             |
| I.7 Sistematika Pembahasan   | 11             |
| <br>   |                |
| <b>BAB II LANDASAN TEORI</b>   | <b>13</b>      |
| 2.1 Mekanika Fluida Dasar  | 13             |
| 2.1.1 Sifat-Sifat Fluida   | 14             |
| 2.1.2 Statika Fluida   | 23             |
| 2.1.3 Aliran Fluida Gerak dan Persamaan Dasar  | 27             |
| 2.2 Dinamika Fluida - Aliran Transien ( <i>Transient Flow/ Surge/ Water Hammer</i> ) | 42             |
| 2.2.1 Mekanisme Aliran Transien  | 44             |
| 2.2.2 Formulasi Aliran Transien ( <i>Waterhammer</i> )                               | 45             |
| 2.2.3 Kecepatan Rambat Gelombang Fluida ( $a$ )                                      | 49             |
| 2.2.4 Langkah Katup ( <i>Valve Stroking Time</i> )                                   | 51             |
| 2.2.5 Tekanan Transien   | 52             |
| 2.3 Getaran ( <i>Vibration</i> )   | 52             |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 2.3.1   | Persamaan Gerak Harmonik dan Periodik  | 53         |
| 2.3.2   | Persamaan Gerak dan Dasar Frekuensi Pribadi ( <i>Natural Frequency</i> )<br>Getaran Bebas                              | 54         |
| 2.3.3   | Frekuensi Pribadi ( <i>Natural Frequency</i> ) dan modus getaran ( <i>Mode Shape</i> )<br>balok yang ditumpu sederhana | 55         |
| 2.3.4   | Pengukuran Getaran   | 62         |
| 2.4   | Sistem Perpipaan   | 65         |
| 2.4.1   | Komponen Pemipaan  | 65         |
| 2.4.2   | Katup ( <i>Valve</i> )   | 66         |
| 2.4.3   | Pompa  | 74         |
| 2.5   | Analisis Hidrolik (Aliran Transien)  | 78         |
| 2.6   | Analisis Tegangan Pipa   | 83         |
| 2.6.1   | Pembebanan   | 83         |
| 2.6.2   | Kategori Tegangan  | 84         |
| 2.6.3   | Tumpuan Pipa ( <i>Pipe Support</i> )   | 85         |
| 2.6.4   | Tegangan izin  | 87         |
| 2.6.5   | Analisis Statik  | 88         |
| 2.6.6   | Analisis Dinamik   | 88         |
| 2.6.7   | Variasi profil pembebanan terhadap waktu   | 90         |
| 2.6.8   | Skema perbandingan analisis statik dan dinamik   | 91         |
| 2.7   | Analisis Getaran Pipa  | 92         |
| 2.7.1   | Kurva kriteria batas izin getaran  | 93         |
| 2.7.2   | Kecepatan kritis   | 96         |
| 2.7.3   | Metode <i>Displacement</i> (ANSI/ASME OM-3)  | 96         |
| 2.7.4   | Metode <i>Likelihood of Failure</i> (LOF)  | 96         |
| 2.7.5   | Pemotongan frekuensi ( <i>frequency cut-off</i> )  | 103        |
| <b>BAB III DATA PEMODELAN SISTEM PERPIPAAN</b>              |  | <b>104</b> |
| <b>BAB IV ANALISIS SEDERHANA (<i>SIMPLIFIED METHOD</i>)</b> |  | <b>113</b> |
| 4.1   | Pengukuran Getaran Dilapangan  | 113        |
| 4.2   | Kecepatan kritis aliran fluida   | 114        |
| 4.3   | Metode <i>Displacement</i> (ANSI/ASME OM-3) – J.C.Wachel   | 115        |
| 4.4   | Metode <i>Likelihood of Failure</i> (LOF)  | 117        |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 4.4.1  | Penilaian akan aliran penyebab turbulensi  | 118        |
| 4.4.2  | Penilaian akan perubahan momentum/ surging akibat buka-tutup katup                 | 120        |
| 4.4.3  | Penilaian akan kemungkinan kavitasi atau flashing                                  | 122        |
| 4.5  | Metode Analisis Sederhana Dengan Perangkat Lunak CAESAR.5.1                        | 122        |
| 4.5.1  | Model Caesar   | 122        |
| 4.5.2  | Data Perpipaan   | 123        |
| 4.5.3  | Daftar Input ( <i>General Input Echo</i> ) – Caesar 5.1.                           | 123        |
| 4.5.4  | Hasil Analisis Statik (Orisinil)   | 125        |
| 4.5.5  | <i>Input Displacement</i> Pada Model Caesar  | 126        |
| 4.5.6  | Hasil Analisis Statik ( <i>Input displacement</i> )                                | 129        |
| 4.5.7  | Perbandingan Hasil Analisis Getaran Dengan Metoda <i>Displacement</i>              | 129        |
| 4.5.8  | Metoda <i>Pseudo Static</i> (Model Original)                                       | 132        |
| 4.5.9  | Metoda <i>Pseudo Static</i> (Dengan Penambahan Pipe Support - <i>Sway Braces</i> ) | 133        |
| 4.5.10   | Kurva <i>Design Fatigue</i>  | 135        |
| <b>BAB V ANALISIS DETIL (<i>DETAIL ANALYSIS</i>)</b> |  | <b>136</b> |
| 5.1  | Analisis Hidrolik Dengan Perangkat Lunak AFT IMPULSE                               | 136        |
| 5.1.1  | P&ID Jalur Pemipaan <i>Minimum Flow</i>  | 136        |
| 5.1.2  | Kondisi yang dianalisa dan data simulasi   | 137        |
| 5.1.3  | Model Analisis Hidrolik  | 139        |
| 5.1.4  | Hasil Analisis Hidrolik  | 140        |
| 5.2  | Modus Getar ( <i>Modal Analysis</i> ) – CAESAR 5.1                                 | 141        |
| 5.2.1  | Frekuensi Potong ( <i>frequency cut off</i> )                                      | 141        |
| 5.2.2  | Modus getar ke-33 pada frekuensi pribadi 3,441 Hz                                  | 143        |
| 5.2.3  | Modus getar ke-82 pada frekuensi pribadi 8,721 Hz                                  | 143        |
| 5.3  | Fenomena Transien  | 145        |
| 5.4  | Analisis Dinamik Dengan Caesar II.5.1  | 146        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>                   |  | <b>121</b> |
| VI.1   | Kesimpulan   | 121        |
| VI.2   | Saran  | 122        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                |  | <b>150</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                                      |  |            |

## DAFTAR TABEL

|            |  | <b>Halaman</b> |
|------------|--|----------------|
| Tabel 1.1  | Kondisi desain dan operasi kebutuhan uap   | 1              |
| Tabel 2.1  | Sifat-sifat air  | 22             |
| Tabel-2.2  | Tekanan uap jenuh cairan pada temperature 20°C   | 22             |
| Tabel-2.3  | Tekanan uap jenuh air (dalam satuan absolut)   | 22             |
| Tabel-2.4  | Koefisien resistansi (K) untuk sambungan-sambungan dan katup dalam bentuk (Le/D)       | 22             |
| Tabel-2.5  | Koefisien resistansi (K) untuk sambungan-sambungan dan katup                           | 40             |
| Tabel-2.6  | Faktor kekasaran bagian dalam pipa   | 41             |
| Tabel-2.7  | Faktor gesekan sebagai fungsi dari bilangan Reynolds dan kekasaran relatif pipa bundar | 41             |
| Tabel-2.8  | Frekuensi pribadi dan modusgetar (normal) untuk balok yang ditumpu sederhana           | 62             |
| Tabel-2.9  | Variasi profil beban terhadap waktu (lampiran G1)                                      | 90             |
| Tabel-2.9  | Konfigurasi tumpuan pipa   | 98             |
| Tabel-2.10 | Metoda perhitungan Pv  | 98             |
| Tabel-2.11 | Penilaian LOF penutupan katup untuk fluida cair dan multi-fase                         | 99             |
| Tabel-2.12 | Harga Ø untuk penutupan katup  | 100            |
| Tabel-2.13 | Penilaian LOF pembukaan katup untuk fluida cair dan multi-fase                         | 100            |
| Tabel-2.14 | Penilaian LOF untuk fenomena kavitasi dan <i>flashing</i>                              | 101            |
| Tabel-2.15 | Harga FL   | 101            |
| Tabel-2.16 | Tindakan yang harus dilakukan mengacu pada hasil LOF                                   | 102            |
| Tabel-3.1  | Data properti air  | 108            |
| Tabel-3.2  | Data properti pipa dan kondisi kerja   | 110            |
| Tabel-4.1  | Hasil pengukuran getaran di lapangan   | 114            |
| Tabel-4.2  | Perhitungan kecepatan kritis   | 115            |
| Tabel-4.3  | Perhitungan tegangan dengan nomograph  | 116            |
| Tabel-4.4  | Perhitungan $\rho v^2$   | 119            |
| Tabel-4.5  | LOF aliran penyebab turbulensi   | 120            |
| Tabel-4.6  | Maksimum gaya transient  | 121            |
| Tabel-4.7  | LOF Penutupan katup ( <i>valve closure</i> )   | 121            |
| Tabel-4.8  | Penilaian akan kemungkinan kavitasi atau <i>flashing</i>                               | 122            |
| Tabel-4.9  | Data perpipaan   | 123            |
| Tabel-5.1  | Tekanan desain dan batas izin tekanan transient  | 137            |
| Tabel 5-2  | Nilai maksimum dan minimum tekanan transient   | 140            |



|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabel 5-3 | Frekuensi potong ( <i>frequency cut off</i> )             | 141 |
| Tabel 5-4 | Frekuensi pribadi sistem perpipaan BFW                    | 142 |
| Tabel 5-5 | Waktu penjaran gelombang tekanan ( <i>pressure wave</i> ) | 145 |
| Tabel 5-6 | Perbandingan tegangan <i>Code</i>                         | 147 |

# DAFTAR GAMBAR

|           |  | <b>Halaman</b> |
|-----------|--|----------------|
| Gambar 1  | Blok diagram Jalur Perpipaan BFW   | 1              |
| Gambar 2  | Performansi kurva pompa  | 3              |
| Gambar-3  | Skema Vibrasi Pipa   | 5              |
| Gambar-4  | Klasifikasi Vibrasi akibat Fluida-FIV                                    | 7              |
| Gambar-5  | Perubahan bentuk akibat dari penerapan gaya-gaya geser tetap             | 15             |
| Gambar-6  | Pengaruh temperature terhadap viskositet                                 | 17             |
| Gambar-7  | Perilaku viskositas cairan   | 17             |
| Gambar-8  | Gaya-gaya yang bekerja pada tetesan air                                  | 19             |
| Gambar-10 | Penjelasan terjadinya Tekanan Uap  | 20             |
| Gambar-11 | Grafik Tekanan Uap Cairan  | 21             |
| Gambar-12 | Diagram benda-bebas (DBB) suatu partikel yang berbentuk baji             | 23             |
| Gambar-13 | Kolom vertikal cairan  | 24             |
| Gambar-14 | Piezometrik  | 25             |
| Gambar-15 | Tekanan ukur dan tekanan mutlak  | 26             |
| Gambar-16 | Satuan dan skala pengukuran tekanan                                      | 27             |
| Gambar-17 | Penampang saluran berbentuk lingkaran                                    | 37             |
| Gambar-18 | Percobaan Reynold  | 38             |
| Gambar-19 | <i>Stream line &amp; tube</i>  | 29             |
| Gambar-20 | Pipa lurus (tanpa percabangan) dengan ukuran tetap                       | 30             |
| Gambar-21 | Tabung aliran  | 31             |
| Gambar-22 | P-V Diagram  | 33             |
| Gambar-24 | <i>Stream Tube</i>   | 33             |
| Gambar-25 | (HGL) Garis Tekanan dan (EGL) Garis Energi                               | 35             |
| Gambar-26 | Fluida Viskos dengan profil kecepatan berupa parabola                    | 36             |
| Gambar-27 | Aliran fluida dalam pipa   | 42             |
| Gambar-29 | Tekanan dan kecepatan dalam pipa setelah penutupan katup tiba-tiba       | 44             |
| Gambar-30 | Volume kontrol penutupan katup   | 46             |
| Gambar-31 | Diagram bebas potongan pipa  | 50             |
| Gambar-32 | Kurva waktu efektif katup  | 51             |
| Gambar-33 | Gerak harmonis sebagai proyeksi suatu titik yang bergerak pada lingkaran | 53             |
| Gambar-34 | Profil Simpangan, kecepatan dan percepatan gerak harmonis                | 53             |
| Gambar-35 | Sistem pegas-massa dan diagram benda bebas (DBB)                         | 54             |
| Gambar-36 | Defleksi elemen balok – kurva elastis                                    | 56             |
| Gambar-37 | Aksi-reaksi yang bekerja pada elemen balok                               | 58             |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Gambar-37 | Peralatan uji coba laboratorium untuk eksitasi kejut                                  | 62  |
| Gambar-38 | FFT <i>Analyzer data collector</i>  | 63  |
| Gambar-39 | Amplitudo   | 64  |
| Gambar-40 | Transformasi Gelombang  | 63  |
| Gambar-41 | Bentuk <i>plug</i> yang akan menentukan karakteristik katup                           | 68  |
| Gambar-42 | Karakteristik aliran untuk masing-masing jenis katup                                  | 69  |
| Gambar-43 | Perbedaan <i>Pressure Reducer</i> dan <i>Backpressure Regulator</i>                   | 72  |
| Gambar-45 | Aplikasi ARV dan BPR secara mekanis   | 73  |
| Gambar-46 | Gambar potongan (a) ARV dan (b) BPR   | 74  |
| Gambar-47 | <i>Impeller vane</i> pompa sentrifugal  | 74  |
| Gambar-48 | Variasi tekanan sepanjang aliran fluida masuk (dihisap pompa)                         | 75  |
| Gambar-49 | Pengaturan kapasitas aliran dengan bukaan katup ( <i>throttling</i> )                 | 75  |
| Gambar-50 | Kombinasi <i>Head</i> pompa   | 76  |
| Gambar-51 | NPSH  | 77  |
| Gambar 52 | Perubahan Aliran Fluida dalam Pipa  | 78  |
| Gambar 53 | Keseimbangan gaya dalam fluida  | 81  |
| Gambar 54 | Aplikasi <i>preset load</i> pada <i>sway brace</i>                                    | 87  |
| Gambar 54 | Jenis-Jenis Tegangan Dasar  | 88  |
| Gambar 55 | Perbandingan analisis statik dan dinamik  | 91  |
| Gambar 56 | Kurva kriteria getaran pipa dengan basis pengukuran kecepatan (MTD)                   | 95  |
| Gambar 56 | Kurva kriteria getaran pipa dengan basis pengukuran simpangan ( <i>Wachel chart</i> ) | 95  |
| Gambar 57 | Diagram alir pendekatan reaktif   | 97  |
| Gambar 58 | Jalur pipa <i>minimum flow BFW</i>  | 106 |
| Gambar 59 | Hasil plot data vibrasi terhadap kurva <i>wachel</i>                                  | 107 |
| Gambar 60 | Material class BFW  | 108 |
| Gambar 61 | <i>Stream No</i>  | 109 |
| Gambar 62 | Foto layout perpipaan yang mengalami getaran  | 113 |
| Gambar 63 | Ringkasan hasil <i>screening</i> getaran (diambil dari Lampiran-E)                    | 114 |
| Gambar 64 | Jarak antar tumpuan pipa  | 115 |
| Gambar 65 | Pengecekan getaran dengan <i>nomograph wachel</i>                                     | 117 |
| Gambar 66 | Hasil <i>screening</i> getaran terhadap kurva MTD Ltd                                 | 118 |
| Gambar 67 | <i>Layout</i> pipa dengan dimensi (diambil dari Lampiran-B5)                          | 118 |
| Gambar 68 | Kurva penilaian Konfigurasi tumpuan pipa berkaitan dengan Tabel-2.9                   | 119 |
| Gambar 67 | Model Caesar 5.1 (lampiran-B3)  | 122 |
| Gambar 68 | Posisi Nodal dan Titik Pengukuran Getaran   | 127 |
| Gambar 69 | Konsep dasar input displacement untuk analisis getaran sederhana                      | 128 |
| Gambar 70 | Check Inputan <i>displacement</i> dalam model   | 129 |
| Gambar 71 | Output Caesar - <i>Displacement stress range</i>                                      | 130 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Gambar 71 | Sumber: ASME B31.3 Fig. 302.3.5 Stress Range Reduction Factor, f                    | 131 |
| Gambar 72 | Input gaya transien pada model caesar akibat peutupan katup ARV                     | 132 |
| Gambar 73 | Input model sway brace pada jalur pipa <i>minimum flow</i>                          | 133 |
| Gambar 74 | Input gaya transien pada model caesar setelah modifikasi                            | 134 |
| Gambar 75 | Hasil Plot Terhadap Kurva S-N   | 135 |
| Gambar 76 | P&ID sekitaran pompa (Lampiran-4A)  | 136 |
| Gambar 77 | P&ID sekitaran Daerator (Lampiran-4A)   | 137 |
| Gambar 78 | Event transient pompa   | 138 |
| Gambar 79 | Event transient ARV   | 138 |
| Gambar 80 | Event transient BPR   | 139 |
| Gambar 81 | Model analisis hidrolik – AFT (Lampiran H-1)  | 139 |
| Gambar 82 | Grafik P-t fluktuasi tekanan transien (Lampiran H-3)                                | 140 |
| Gambar 83 | Input data Tabel 5-3 frekuensi potong ( <i>frequency cut off</i> ) – Analisis Modal | 141 |
| Gambar 84 | Modus getar 33 – 3,441 Hz   | 143 |
| Gambar 85 | Modus getar 82 – 8,721 Hz   | 144 |
| Gambar 86 | RPM Pompa Lampiran D-4  | 144 |
| Gambar 87 | Forum diskusi COADE – surging analysis (Lampiran I-3)                               | 145 |
| Gambar 88 | Input gaya transien hasil AFT pada model caesar setelah modifikasi                  | 146 |

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A1 - 62-UFD-PS-1201A\_7A\_0010  
Lampiran A2 - 62-UFD-PS-1203A\_7A\_0010  
Lampiran A3 - 62-UFD-PS-1210\_7A\_0010  
Lampiran A4 - Pumps P&ID\_updated 20100930  
Lampiran A5 - Pumps2 P&ID\_updated 20100930  
Lampiran A6 - BFW Line List  
Lampiran B1 - Piping Plan at 063-D-1002A-B and 062-1001A-B(1 of 2) Plant Utility  
Lampiran B2-4 - CAESAR Discharge Model gabung  
Lampiran B5 - Sketch Stress  
Lampiran C1 - Welded Shoe  
Lampiran C2 - Clamp Shoe  
Lampiran C3 - Clamp Strap  
Lampiran C4 - Sway braces  
Lampiran D1 – Daerator  
Lampiran D2 - BFW pump  
Lampiran D3 - V-2158-104-A-314\_3A\_0001 062-P-1001A-B-C  
Lampiran D4 - Performansi BFW pump  
Lampiran D5 - V-216G-306-A-420\_3E\_0001[1] ARV & BPR  
Lampiran D6 YAWMC-0414-US 9100 Sizing  
Lampiran E1-6 - Vibration Measurement Result all  
Lampiran F1 - Material Class  
Lampiran F2 - ID Pipe ANSI  
Lampiran F3 - Data Stream Fluida  
Lampiran G1 - Profil beban dinamik CAESAR  
Lampiran G2 - Nomograph Displacement Method  
Lampiran G3 - Sway braces  
Lampiran H1 - Model Analisis Hidrolik  
Lampiran H2 - Report Analisis Hidrolik  
Lampiran H3 - Report Analisis Hidrolik Grafik P - t Min Flow  
Lampiran H4 - Report Analisis Hidrolik Grafik P - t ARV  
Lampiran H5 - Report Analisis Hidrolik Grafik Debit Aliran  
Lampiran I1 - Modus getar 33 - 3,4Hz  
Lampiran I2 - Modus getar 82 - 8,7Hz  
Lampiran I3 - Surge analysis - Intergraph CADWorx & Analysis

## Nomenklatur

|                  |                                    |                              |
|------------------|------------------------------------|------------------------------|
| $P$              | Tekanan                            | $\text{Kg/cm}^2$             |
| $T$              | Temperatur                         | $^{\circ}\text{C}$           |
| $W$              | Flow Rate (massa)                  | $\text{Kg/jam}$              |
| $Q$              | Flow Rate Debit Aliran Fluida      | $\text{m}^3/\text{jam}$      |
| $\rho$           | Massa Jenis                        | $\text{Kg/m}^3$              |
| $\mu$            | Viskositet Dinamik/ Absolut        | c.P (Centi Poise)            |
| $\nu$            | Viskositet Kinematik               | c.Stoke                      |
| $D_{in}$         | Diameter Dalam Pipa                | m                            |
| $D_{ext}$        | Diameter Luar Pipa                 | m                            |
| $t$              | Tebal dinding Pipa                 | mm                           |
| $v$              | Kecepatan Fluida                   | m/det                        |
| $E$              | Modulus Elastisitas                | MPa                          |
| $K$              | Modulus Borongan                   | MPa                          |
| $\Delta P_{100}$ | Drop tekanan tiap 100m             | $\text{Kg/cm}^2/100\text{m}$ |
| $I$              | Momen Inersia Pipa                 | $\text{m}^4$                 |
| $L_a$            | Panjang Pipa Lurus                 | m                            |
| $L_e/D$          | Panjang Ekuivalen Komponen Pipa    |                              |
| $L$              | Panjang Total Ekuivalen            | m                            |
| $\varepsilon$    | Regangan                           | m/m                          |
| $\Delta L$       | Perubahan Panjang                  | m                            |
| $\sigma$         | Tegangan (Normal)                  | $\text{N/m}^2$               |
| $m$              | Massa                              | Kg                           |
| $V$              | Volume                             | $\text{m}^3$                 |
| $P_{ab}$         | Tekanan Absolut                    | $\text{N/m}^2$               |
| $P_{am}$         | Tekanan Atmosfer/ udara lingkungan | $\text{N/m}^2$               |
| $P_G$            | Tekanan Ukur = Tekanan Lebih       | $\text{N/m}^2$               |
| $P_u$            | Tekanan Uap                        | $\text{N/m}^2$               |
| $\gamma$         | Berat jenis                        | $\text{N/m}^3$               |
| $G$              | Gaya berat dalam kilogram gaya     | kgf                          |
| $g$              | Gaya gravitasi dalam               | $\text{m/det}^2$             |



|         |                                 |                   |
|---------|---------------------------------|-------------------|
| $F$     | Gaya                            | N                 |
| $S$     | Jarak                           | m                 |
| $a$     | Percepatan                      | m/s <sup>2</sup>  |
| $\tau$  | Tegangan Geser                  | N/m <sup>2</sup>  |
| $dv$    | Diferensial Kecepatan           | m/s               |
| $dy$    | Diferensial Jarak               | m                 |
| $dP$    | Diferensial Tekanan             | N/m <sup>2</sup>  |
| $dV$    | Diferensial Volume              | m <sup>3</sup>    |
| Re      | Bilangan Reynold                |                   |
| $L_a$   | Panjang Pipa Lurus              | m                 |
| $L_e/D$ | Panjang Ekuivalen Komponen Pipa |                   |
| $L$     | Panjang Total Ekuivalen         | m                 |
| $Q$     | Debit Aliran Volume Fluida      | m <sup>3</sup> /s |
| $G$     | Debit Aliran Berat Fluida       | N/s               |
| $M$     | Debit Aliran Massa Fluida       | Kg/s              |
| $Q_k$   | Kalor                           | Joule             |
| $W$     | Usaha/ Kerja                    | Joule             |
| $U$     | Energi Dalam                    | Joule             |

