

**EVALUASI TEGANGAN *WATER HAMMER* PADA PIPA *HOT WATER*
SUPPLY BERDASARKAN ASME B31.3**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

TRI KUSUMA PRIYANTO
NIM: 41322110059

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

EVALUASI TEGANGAN *WATER HAMMER* PADA PIPA *HOT WATER SUPPLY*
BERDASARKAN ASME B31.3



Disusun oleh:

Nama : Tri Kusuma Priyanto
NIM : 41322110059
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
DESEMBER 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Tri Kusuma Priyanto


NIM : 41322110059

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : Evaluasi Tegangan *Water Hammer* Pada Pipa *Hot Water Supply* Berdasarkan ASME B31.3

Telah berhasil dipertahankan pada sidang dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Disahkan Oleh:

Pembimbing : Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng ()

NIDN : 0314109101

Penguji 1 : Dra. I G Ayu Arwati, MT., Ph.D ()

NIDN : 0010046408

Penguji 2 : Henry Charles, S.T., M.T ()

NIDN : 0301087304

Jakarta, 28 Desember 2023

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT)



(Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT)

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Tri Kusuma Priyanto

NIM : 41322110059

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Kerja Praktik : Evaluasi Tegangan *Water Hammer* Pada Pipa *Hot Water Supply* Berdasarkan ASME B31.3

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercubuana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Jakarta, 28 Desember 2023

UNIVERSITAS
MERCUBUANA



Tri Kusuma Priyanto

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Tidak lupa penulis juga ingin menyampaikan rasa terimakasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih ini dipersembahkan untuk orang-orang yang telah berjasa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Ardiansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercubuana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Iktrianasari selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercubuana.
3. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercubuna
4. Bapak Gilang Awan Yudhistira ST., MT, selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah mengarahkan dan memberi bimbingan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Yasman Karto Sudirjo selaku orang tua yang telah memberikan dukungan tanpa henti kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
7. Alm. Ibu Supriyatin selaku ibu kandung penulis yang semasa hidupnya memberikan inspirasi kepada penulis.
8. Imam supriyanto yang telah menjadi pendengar yang baik akan keluh kesah selama proses penulisan Tugas Akhir.
9. Budi prihasto yang selalu memberikan nasihat dan semangat kepada penulis.
10. Teman-teman rekan kerja yang telah membantu pengambilan data untuk keperluan Tugas Akhir.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak tersebut. Penulisan Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan dari pihak-pihak tersebut. Penulis menyadari masih banyak

kekurangan di dalam diri penulis, sehingga penulis juga memohon maaf apabila ada kesalahan baik itu disengaja atau tidak disengaja.

Jakarta, 18 Desember 2023



Tri Kusuma Priyanto



ABSTRAK

Fenomena *water hammer* merupakan sebuah peristiwa terjadinya lonjakan tekanan dan kecepatan di jalur pipa karena *valve* yang menutup dengan cepat akibat variasi kerja mesin. Fenomena ini dapat mengakibatkan kerusakan pada pipa dikarenakan adanya lonjakan tekanan secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan tegangan pada pipa melebihi tegangan ijin. Evaluasi tegangan pada pipa saat terjadi *water hammer* dilakukan agar dapat mengetahui tegangan yang dihasilkan oleh *water hammer* mengakibatkan kebocoran pada pipa atau tidak serta penentuan tindakan preventif dari potensi kebocoran pipa tersebut. Dalam penelitian ini evaluasi tegangan pada pipa *stainless steel* 1 inch sch 40 dilakukan dengan perhitungan teoritik terhadap tegangan operasional pipa dan tegangan *water hammer* dengan tegangan ijin yang akan menjadi acuan batas *allowable stress*. Perhitungan tekanan dan tegangan yang terjadi pada saat fenomena *water hammer* terjadi dilakukan dengan dengan perhitungan teoritik menggunakan persamaan Cruise. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fenomena *water hammer* mengakibatkan kenaikan tekanan fluida sebesar 106,11 MPa. Selain kenaikan tekanan, *water hammer* juga meningkatkan tegangan longitudinal dari 2135,64 MPa menjadi 2541,126 MPa, tegangan tangensial dari 1114,418 MPa menjadi 1589,28 MPa serta tegangan radial maksimum yang berupa tegangan kompresi naik dari 225,553 MPa menjadi 331,663 MPa. Dengan nilai *code allowable stress* pipa *stainless steel* ASTM A312 sch. 40 berdasarkan ASME B31.3 adalah 11518,6852 MPa maka tegangan *water hammer* yang terjadi masih dibawah nilai tegangan ijin sehingga tegangan *water hammer* bukan potensi utama terjadinya kebocoran pada pipa *hot water supply* ATC-A14. Setelah dilakukan perhitungan tegangan *water hammer* yang terjadi ketika penutupan *valve* divariasikan sampai kemungkinan tercepat menunjukkan bahwa tegangan *water hammer* yang terjadi masih dibawah tegangan ijin pipa *stainless steel* ASTM A312 berdasarkan ASME B31.3. Sehingga tidak diperlukan adanya tindakan preventif terkait potensi kebocoran pipa akibat *water hammer*.

Kata Kunci: *Water Hammer*, Pipa, Tegangan, Tekanan, ASME B31.3

EVALUATION OF WATER HAMMER STRESS ON HOT WATER SUPPLY PIPES ACCORDING TO ASME B31.3

ABSTRACT

The water hammer phenomenon is an occurrence of pressure and velocity surges in the pipeline due to a valve closing rapidly as a result of variations in machine operation. This phenomenon can lead to pipe damage because of sudden pressure surges that may cause stress on the pipe to exceed the permissible stress. Evaluation of pipe stress during water hammer incidents is conducted to determine whether the stress generated by water hammer causes pipe leakage and to establish preventive measures against the potential pipe leaks. In this study, stress evaluation on a 1-inch sch 40 stainless steel pipe is carried out by calculating torsional stress on the operational pipe and water hammer stress with the allowable stress serving as the reference limit. Pressure and stress calculations during the water hammer phenomenon are performed using theoretical calculations based on the Cruise equation. The research results indicate that the water hammer phenomenon results in a fluid pressure increase of 106.11 MPa. In addition to the pressure increase, water hammer also raises longitudinal stress from 2135.64 MPa to 2541.126 MPa, tangential stress from 1114.418 MPa to 1589.28 MPa, and maximum radial stress, which is compressive stress, from 225.553 MPa to 331.663 MPa. With the code allowable stress value for the ASTM A312 sch. 40 stainless steel pipe according to ASME B31.3 being 11518.6852 MPa, the water hammer stress is still below the allowable stress value. Therefore, water hammer stress is not the main potential cause of leakage in the hot water supply pipe ATC-A14. After calculating the water hammer stress occurring when the valve closure is varied to the fastest possible, it is shown that the water hammer stress remains below the allowable stress for the ASTM A312 stainless steel pipe according to ASME B31.3. Thus, there is no need for preventive measures related to the potential pipe leakage due to water hammer.

Keywords: *Water Hammer, Pipe, Stress, Pressure, ASME B31.3*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. DASAR TEORI	10
2.2.1 <i>Code and Standart</i>	10
2.2.2 <i>Hukum Hooke</i>	14
2.2.3 <i>Tegangan Pipa</i>	15
2.2.4 <i>Tegangan Longitudinal</i>	16
2.2.5 <i>Tegangan Tangensial (Circumferential Stress atau Hoop Stress)</i>	20
2.2.6 <i>Tegangan Radial</i>	21
2.2.7 <i>Tegangan Geser</i>	22
2.2.8 <i>Tegangan Ijin (Allowable Stress)</i>	24
2.2.9 <i>Water Hammer</i>	24

BAB III METODOLOGI	28
3.1. DIAGRAM ALIR	28
3.1.1 Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir	28
3.1.2 Diagram Alir Proses Perhitungan Tegangan <i>Water Hammer</i>	30
3.2. ALAT DAN BAHAN	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 PERHITUNGAN TEGANGAN PIPA SEBELUM <i>WATER HAMMER</i> DAN KETIKA TERJADI <i>WATER HAMMER</i>	34
4.1.1 Perhitungan Tegangan Pipa Sebelum Terjadi <i>Water Hammer</i>	34
4.1.2 Perhitungan Tegangan <i>Water Hammer</i>	45
4.2 MENGHITUNG TEGANGAN <i>WATER HAMMER</i> DENGAN PENUTUPAN VALVE YANG DIVARIASIKAN	51
BAB V PENUTUP	55
5.1 KESIMPULAN	55
5.2 SARAN	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	59



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan	14
Gambar 2.2 Tegangan Aksial	16
Gambar 2.3 Tegangan Longitudinal Tekan	17
Gambar 2.4 Tegangan Tekuk	19
Gambar 2.5 Tegangan Tangensial	20
Gambar 2.6 Tegangan Radial	22
Gambar 2. 7 Tegangan Geser	22
Gambar 2.8 Tegangan Torsi	23
Gambar 2.9 Proses Terjadinya Water Hammer	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penulisan Tugas Akhir	28
Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Perhitungan Tegangan Water Hammer Pada Pipa	30
Gambar 3. 3 Pipa Seamless Stainless Steel	32
Gambar 3. 4 Knee las SPC stainless steel 1 inchi 3000 psi	32
Gambar 3. 5 Piston valve tipe flange 1 inchi	33
Gambar 4. 1 Tegangan Kibat Gaya Aksial	36
Gambar 4. 2 Tegangan Akibat Tekanan Internal	37
Gambar 4. 3 Tegangan Akibat Momen Tekuk	40
Gambar 4. 4 Tegangan Tangensial	41
Gambar 4. 5 Tegangan Radial Radius Luar Pipa	42
Gambar 4. 6 Tegangan Radial Pada Dinding Pipa Bagian Dalam	43
Gambar 4. 7 Tegangan Pipa Sebelum Terjadi Water Hammer dan Tegangan Ijin	45
Gambar 4. 8 Tegangan Pipa Water Hammer	49
Gambar 4. 9 Perbandingan Nilai Tegangan Pipa Sebelum Water Hammer dengan Tegangan Pipa saat Water Hammer	49
Gambar 4. 10 Tegangan Water Hammer dan Tegangan Ijin	50
Gambar 4. 11 Kenaikan Tekanan Masing-Masing Variasi	52
Gambar 4. 12 Tekanan Maksimum Berdasarkan Masing-Masing Variasi	53
Gambar 4. 13 Variasi Waktu Penutupan Valve	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2 Code ASME B31	11
Tabel 2.3 Code ASME B16 Feeting	12
Tabel 2.4 Code ASME B16 Valves	13
Tabel 2.5 Code ASME B16 Flanges	13
Tabel 2.6 Code ASME B16 Gasket	14
Tabel 2.7 Tabel Nilai $Y t < D/6$	18
Tabel 3. 1 Spesifikasi pipa	32
Tabel 3. 2 Spesifikasi fluida kerja	33
Tabel 4. 1 Tabel pengukuran waktu penutupan valve	46
Tabel 4. 2 Variasi Waktu Penutupan Valve	51



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
T	Tebal dinding pipa [mm]
P	Tekanan internal pipa [MPa]
Di	Diameter luar pipa [mm]
σ	<i>Stress</i> pada temperature desain [MPa]
E	Faktor efisiensi sambungan [-]
Y	Faktor bahan [-]
A_i	Luas penampang dalam pipa [m ²]
A_m	Luas penampang luar pipa [m ²]
A_{max}	Luas penampang pipa [m ²]
Do	Diameter luar pipa [mm]
Mb	Momen bending [KNm]
W	Berat pipa [N/m]
L	Panjang pipa [m]
Ro	Jari-jari luar pipa [mm]
Z	<i>Section</i> modulus [inchi ³]
C	Jarak dari netral axis [mm]
I	Momen inersia penampang [mm ⁴]
σ_b	Tegangan akibat momen tekuk [MPa]
σ_L	Tegangan longitudinal [MPa]
F_{ax}	Gaya yang bekerja searah dengan sumbu pipa
σ_H	Tegangan tangensial [MPa]
σ_R	Tegangan radial [MPa]
Ri	Radius dalam pipa [mm]
Ro	Radius luar pipa [mm]
σ_{max}	Tegangan geser [MPa]
Q	Faktor untuk pergeseran [-]
C	<i>Corrosion rate</i> [-]
V	Gaya geser [Kg.m/s ²]
NOS	Jumlah <i>support</i> pada pipa [-]

P_{max}	Tekanan maksimal [MPaa]
P_0	Tekanan awal [MPa]
ΔP	Perubahan tekanan [MPa]
C	Kecepatan gelombang <i>water hammer</i> (Seleritas gelombang) [m/s]
T_w	Waktu gelombang [s]
V_0	Kecepatan aliran ketika keadaan <i>steady state</i> [m/s]
K	Modulus elastis fluida [N/m ²]
ρ	Massa jenis fluida [kg/m ³]



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
MAWP	<i>Maximum Allowance Working Pressure</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ANSI	<i>American Standart Institute</i>
NPS	<i>Normal Pipe Size</i>



UNIVERSITAS
MERCU BUANA