



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN TANGKI PENYIMPANAN HIDROGEN *ON-SITE* BERDASARKAN KEBUTUHAN KAPASITAS SESUAI
ASME BPVC SECTION VIII DIVISION 1 PADA
*POLYPROPYLENE PLANT***

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Mohamad Prais Fauzan

NIM. 2202431055

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN TANGKI PENYIMPANAN HIDROGEN *ON-SITE* BERDASARKAN KEBUTUHAN KAPASITAS SESUAI
ASME BPVC SECTION VIII DIVISION 1 PADA
*POLYPROPYLENE PLANT***

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan

Teknik Mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

**Mohamad Prais Fauzan
NIM. 2202431055**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PERANCANGAN TANGKI PENYIMPANAN HIDROGEN *ON-SITE*
BERDASARKAN KEBUTUHAN KAPASITAS SESUAI ASME BPVC
SECTION VIII DIVISION 1 PADA *POLYPROPYLENE PLANT***

Oleh:

Mohamad Prais Fauzan

NIM. 2202431055

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE
NIP. 197707142008121005

Pembimbing 2

Rahman Filzi, S.T., M.T.
NIP. 197204022000031002

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Arifia Ekayuliana, S. T., M.T.
NIP 19910721201803200



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

PERANCANGAN TANGKI PENYIMPANAN HIDROGEN *ON-SITE*
BERDASARKAN KEBUTUHAN KAPASITAS SESUAI ASME BPVC
SECTION VIII DIVISION 1 PADA *POLYPROPYLENE PLANT*

Oleh:

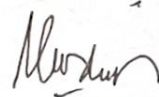
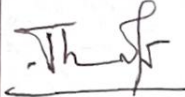
Mohamad Prais Fauzan

NIM. 2202431055

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 17 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dr. Muslimin, Ir., S.T., M.T., I.WE. NIP. 197707142008121005	Ketua		21/07 2026
2.	Prof. Dr. Tatun Hayatun Nufus, M.Si NIP.196604161995122001	Penguji 1		21/07 2026
3.	Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. NIP.197512222008121003	Penguji 2		21/07 2026

Depok, 29 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si
NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mohamad Prais Fauzan
NIM : 2202431055
Program Studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat didalam skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 17 Juli 2026



Mohamad Prais Fauzan
NIM. 2202431055



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERANCANGAN TANGKI PENYIMPANAN HIDROGEN *ON-SITE* BERDASARKAN KEBUTUHAN KAPASITAS SESUAI ASME BPVC SECTION VIII DIVISION 1 PADA *POLYPROPYLENE PLANT*

Mohamad Prais Fauzan¹⁾, Muslimin²⁾, dan Rahman Filzi¹⁾

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail: mohamad.prais.fauzan.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan hidrogen yang kontinu pada unit *Polypropylene Plant* menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga keberlangsungan proses produksi. Selama periode pemeliharaan fasilitas produksi hidrogen, diperlukan sistem penyimpanan hidrogen cadangan yang mampu menjamin kontinuitas pasokan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe *Modular Multi-Cylinder Cascade (MCC)* serta mengevaluasi kekuatan struktur *pressure vessel* berbahan SA-372 Grade J berdasarkan ASME Boiler and Pressure vessel Code Section VIII Division 1. Metode penelitian dilakukan melalui perhitungan kebutuhan hidrogen selama periode *maintenance*, perancangan *pressure vessel* berdasarkan standar ASME, analisis tegangan teoritis, serta simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan perangkat lunak ANSYS. Material yang digunakan adalah SA-372 Grade J dalam bentuk pipa *seamless* karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan sesuai untuk aplikasi tekanan tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penyimpanan memerlukan 16 unit *pressure vessel* untuk memenuhi kebutuhan hidrogen selama 13 hari masa *maintenance*. Hasil simulasi menunjukkan nilai maksimum sebesar 191,12 MPa yang masih berada di bawah *Allowable Stress* material sebesar 207 MPa. Deformasi maksimum yang terjadi sebesar 1,219 mm dan faktor keamanan terhadap tegangan luluh sebesar 2,3546 menunjukkan bahwa struktur masih bekerja pada daerah elastis dan memiliki integritas yang baik. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, *pressure vessel* berbahan SA-372 Grade J dinilai mampu memenuhi persyaratan kekuatan dan keselamatan operasi untuk aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi. Material SA-372 Grade J juga menunjukkan potensi yang baik untuk digunakan pada sistem penyimpanan hidrogen karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi serta tersedia dalam bentuk pipa *seamless* yang dapat mengurangi potensi konsentrasi tegangan akibat sambungan las.

Kata kunci: hidrogen, *pressure vessel*, SA-372 Grade J, *Finite Element Analysis*, ASME BPVC.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DESIGN OF AN ON-SITE HYDROGEN STORAGE TANK BASED ON CAPACITY REQUIREMENTS IN ACCORDANCE WITH ASME BPVC SECTION VIII DIVISION 1 FOR A POLYPROPYLENE PLANT

Mohamad Prais Fauzan¹⁾, Muslimin²⁾, dan Rahman Filzi¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail: mohamad.prais.fauzan.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

The continuous demand for hydrogen at the polypropylene plant is a key factor in ensuring the continuity of the production process. During maintenance periods at the hydrogen production facility, a backup hydrogen storage system is required to guarantee an uninterrupted supply. This study aims to design an on-site hydrogen storage system of the Modular Multi-Cylinder Cascade (MCC) type and to evaluate the structural strength of a pressure vessel made of SA-372 Grade J steel based on the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1. The research methodology involved calculating hydrogen requirements during the maintenance period, designing pressure vessels based on ASME standards, conducting theoretical stress analysis, and performing Finite Element Analysis (FEA) simulations using ANSYS software. The material used was SA-372 Grade J in the form of seamless pipes due to its high mechanical strength and suitability for high-pressure applications. The results of the study indicate that the storage system requires 16 pressure vessels to meet hydrogen demand during the 13-day maintenance period. Simulation results show a maximum value of 191.12 MPa, which remains below the material's allowable stress of 207 MPa. The maximum deformation was 1.219 mm, and the safety factor against yield stress was 2.3546, indicating that the structure remains within the elastic range and maintains good integrity. Based on the calculation and simulation results, pressure vessels made of SA-372 Grade J are deemed capable of meeting the strength and operational safety requirements for high-pressure hydrogen storage applications. SA-372 Grade J material also shows good potential for use in hydrogen storage systems because it has high mechanical strength and is available in seamless pipe form, which can reduce the potential for stress concentration due to welded joints.

Keywords: hydrogen, pressure vessel, SA-372 Grade J, Finite Element Analysis, ASME BPVC



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perancangan Tangki Penyimpanan Hidrogen *On-Site* Berdasarkan Kebutuhan Kapasitas Sesuai ASME BPVC Section VIII Division 1 pada *Polypropylene Plant*" sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini baik dari pihak instansi maupun dari pihak lainnya, untuk itu penulis banyak mengucapkan terimakasih kepada yang penulis hormati, yaitu:

1. Orang tua tercinta, dan keluarga yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, serta pengorbanan yang tiada henti sejak penulis memulai perjalanan sebagai mahasiswa hingga dapat menyelesaikan pendidikan ini.
2. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si selaku ketua jurusan Teknik Mesin.
3. Ibu Arifia Ekayuliana, M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Rekayasa Konversi Energi.
4. Bapak Dr. Eng. Ir, Muslimin, S.T., M.T., IWE selaku dosen pembimbing utama, yang tidak hanya memberikan arahan teknis, tetapi juga mengajarkan cara berpikir kritis dan sistematis dalam menghadapi masalah rekayasa.
5. Bapak Rahman Filzi S.T., M.T selaku dosen pembimbing pendamping, atas saran-saran yang tajam dan dukungan yang konsisten sepanjang proses penelitian.
6. Seluruh dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, atas ilmu, pengalaman, dan nilai-nilai ketekunan yang diajarkan selama masa perkuliahan banyak di antaranya tanpa sadar menjadi bekal berharga dalam penyelesaian skripsi ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Sahabat penulis sejak masa sekolah menengah atas, yaitu Alya dan kawan-kawan dari Tjebongs, dll.
8. Jابه Family (Ardhana, Abrar, Faishal, Marcel, Maldy, Nathan, Rafi, Razka, Sheva, Vero). Selaku teman kecil penulis hingga dewasa yang selalu memberikan tawa dan semangat serta menjadi ruang tumbuh lebih baik.
9. Rekan-rekan seperjuangan, atas diskusi, tawa, dan solidaritas yang membuat proses panjang ini terasa lebih ringan.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini masih jauh dari sempurna baik dari kekurangan dalam bahasa maupun dalam sistematika penulisan untuk itu penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan kearah kesempurnaan. Akhir kata penulis sampaikan terimakasih

Depok, 17 Juli 2026

Mohamad Prais Fauzan
NIM. 2202431055

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah.....	6
1.6. Sistematika Penulisan Skripsi	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Landasan Teori.....	9
2.1.1. <i>Polypropylene Plant</i>	9
2.1.2. Hidrogen dan Karakteristiknya dalam Industri Petrokimia	11
2.1.3. Sistem Penyimpanan Hidrogen.....	13
2.1.3.1 Standar dan Regulasi Sistem Penyimpanan Hidrogen Bertekanan	14
2.1.3.2 Klasifikasi Sistem Penyimpanan Hidrogen Bertekanan	16
2.1.3.3 <i>Hydrogen Embrittlement</i>	16



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.3.4 Karakteristik Termodinamika dan Persamaan Keadaan Gas Nyata	20
2.1.4. <i>Pressure vessel</i> Penyimpanan Hidrogen Tipe <i>Multi-Cylinder Cascade</i>	21
2.1.4.1 Parameter Desain <i>Pressure vessel</i>	23
2.1.4.2 Standarisasi Diameter Tangki dengan NPS	25
2.1.4.3 Pemilihan Material <i>Pressure vessel</i>	27
2.1.4.4 Pemilihan material SA – 372 Grade J untuk penyimpanan hydrogen bertekanan tinggi	29
2.1.4.5 Perhitungan Ketebalan Dinding dan Schedule	32
2.1.4.6 Perhitungan Kapasitas dan Desain Tangki Penyimpanan Hidrogen	34
2.1.5 Analisis Tegangan pada Silinder	38
2.1.5.1 Tegangan Lingkar (<i>Hoop / Tangential Stress</i>)	38
2.1.5.2 Tegangan Radial	40
2.1.5.3 Tegangan Aksial (<i>Longitudinal / Axial Stress</i>)	42
2.1.5.4 Distribusi Tegangan Gabungan (<i>Von Mises / Equivalent Stress</i>)	44
2.1.6. Pemodelan dan Simulasi Numerik	46
2.1.6.1 <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	46
2.1.6.2 Asumsi Analisis Statik Linier	47
2.1.6.3 Jenis dan Orde Elemen	49
2.1.6.4 Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>)	51
2.1.6.5 Studi Konvergensi Mesh	52
2.1.6.6 Perangkat Lunak (<i>SolidWorks & ANSYS</i>)	54
2.1.7. Parameter Evaluasi Hasil Simulasi	54
2.1.7.1 <i>Equivalent Von Mises Stress</i>	54
2.1.7.2 Total Deformation	55
2.1.7.3 <i>Safety Factor</i>	56
2.2 Kajian Literatur	58
2.3 Kerangka Pemikiran	61
BAB III METODE PENELITIAN	63
3.1. Jenis Penelitian	63
3.2. Objek Penelitian	64



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3. Metode Pengambilan Sampel.....	65
3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian	66
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian	67
3.6. Metode Analisis Data.....	68
3.6.1. Diagram Alir Penelitian	68
3.6.2. Analisis Teknis Sistem <i>On-Site Storage</i>	70
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	74
4.1. Hasil Penelitian	74
4.1.1. Penentuan Kapasitas dan Konfigurasi Sistem Penyimpanan Hidrogen	74
4.1.1.1 Perhitungan Kebutuhan Hidrogen	74
4.1.1.2 Perhitungan Volume Internal Tangki	75
4.1.1.3 Penentuan Jumlah Mol dan Massa Hidrogen Terkompresi	77
4.1.1.5 Penentuan Jumlah Unit <i>Pressure vessel</i>	78
4.1.2 Perancangan <i>Pressure vessel</i> Berdasarkan ASME VIII Div.1.....	79
4.1.2.1 Desain Geometri <i>Pressure Vessel</i>	79
4.1.2.2 Perhitungan Ketebalan <i>Shell</i> dan Head.....	80
4.1.2.3 Verifikasi Kriteria <i>Thin Wall</i>	81
4.1.3 Analisis Teoritis Kekuatan Struktur <i>Pressure vessel</i>	82
4.1.3.1 Perhitungan <i>Hoop stress</i>	82
4.1.3.2 Perhitungan <i>Longitudinal stress</i>	83
4.1.3.3 Evaluasi <i>Radial Stress</i>	84
4.1.3.4 Perhitungan <i>Equivalent Von Mises Stress</i> (Tegangan Gabungan)	84
4.1.3.5 Perhitungan <i>Safety Factor</i>	86
4.1.3.6 Ringkasan Hasil Analisis Teoritis.....	87
4.1.4 Analisis <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	88
4.1.4.1 Pemodelan Geometri.....	88
4.1.4.2 Properti Material	88
4.1.4.3 <i>Boundary Condition</i>	89
4.1.4.4 Mesh dan <i>Mesh Convergence</i>	90
4.1.4.5 <i>Equivalent Von Mises Stress</i>	92
4.1.4.6 Distribusi Tegangan pada <i>Shell</i> dan <i>Hemispherical Head</i>	93



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.4.7	<i>Total Deformation</i>	93
4.1.4.8	<i>Safety factor</i>	94
4.1.4.9	Validasi Hasil Simulasi terhadap Perhitungan Teoritis dan Interpretasi Distribusi Tegangan	95
4.2	Pembahasan.....	96
4.2.1	Analisis Kapasitas dan Konfigurasi Sistem Penyimpanan Hidrogen	96
4.2.2	Analisis Desain <i>Pressure vessel</i> Berdasarkan ASME VIII Div.1 ...	98
4.2.3	Analisis Kekuatan Struktur Berdasarkan Teori dan FEA	99
4.2.4	Evaluasi Kelayakan Material SA-372 Grade J terhadap Penyimpanan Hidrogen.....	105
4.2.5	Ringkasan Hasil Perancangan dan Analisis <i>Pressure vessel</i>	107
BAB V PENUTUP.....		109
5.1.	Kesimpulan	109
5.2.	Saran.....	110
DAFTAR PUSTAKA.....		112
LAMPIRAN SKRIPSI.....		117

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Polypropylene Plant</i> (Pertamina, 2023)	9
Gambar 2. 2 Proses Produksi Polipropilena (Velásquez-Barrios et al., 2019)	10
Gambar 2. 3 Skema integrasi <i>hydrogen storage tank</i> dalam sistem <i>supply</i> hidrogen industri menuju <i>Polypropylene Plant</i>	13
Gambar 2. 4 Klasifikasi tangki penyimpanan hidrogen bertekanan berdasarkan konstruksi Type I–IV(Stargate Hydrogen, 2024)	16
Gambar 2. 5 Mekanisme terjadinya <i>hydrogen embrittlement</i> material logam akibat difusi atom hidrogen (Jan Počta et al., 2013).....	17
Gambar 2. 6 <i>Stresses in a pressurised cylindrical section</i> (Mazarire et al., 2026).....	39
Gambar 2. 7 (a) bejana tekan dinding tipis (b) bejana tekan dinding tebal	41
Gambar 2. 8 Model geometris yang digunakan oleh R. <i>Von Mises</i> dalam penurunan kriteria hasil (<i>yield criterion</i>)(A. L. de M. Costa, 2022).....	45
Gambar 2. 9 Permukaan batas elastis dari kriteria luluh <i>Von Mises</i> dalam ruang tegangan normal utama.(A. L. de M. Costa, 2022).....	45
Gambar 2. 10 Jenis-jenis elemen yang umum digunakan dalam analisis elemen hingga (FEA). (Zienkiewicz et al., 2013)	49
Gambar 2. 11 Ilustrasi proses <i>mesh refinement</i> pada model elemen hingga.	53
Gambar 3. 1 Spesifikasi utama objek penelitian.....	65
Gambar 3. 2 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	68
Gambar 4. 1 Detail dimensi <i>pressure vessel cascade tank</i>	79
Gambar 4. 2 Konfigurasi <i>Cascade Storage</i> Sebanyak 16 Unit <i>Pressure vessel</i> ...	80
Gambar 4. 3 Area <i>internal pressure</i>	89
Gambar 4. 4 Area <i>fixed support</i>	90
Gambar 4. 5 Mesh elemen hingga pada model <i>pressure vessel</i> hidrogen dengan <i>hemispherical head</i>	91
Gambar 4. 6 Detail mesh pada daerah <i>hemispherical head</i> dan <i>nozzle pressure vessel</i>	91
Gambar 4. 7 Hasil simulasi <i>equivalent stress / equivalent Von Mises stress</i>	92
Gambar 4. 8 Hasil simulasi <i>equivalent stress / equivalent Von Mises stress</i>	92



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 9 Hasil simulasi tegangan pada <i>shell</i> dan <i>hemispherical head</i>	93
Gambar 4. 10 Hasil simulasi total <i>deformation</i>	94
Gambar 4. 11 Hasil simulasi <i>safety factor</i>	94
Gambar 4. 12 Lokasi Pengambilan Nilai Tegangan untuk Validasi FEA	101
Gambar 4. 13 Hasil simulasi <i>equivalent stress / equivalent Von Mises stress</i>	101
Gambar 4. 14 Detail distribusi tegangan pada <i>hemispherical head</i>	102
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan hasil simulasi <i>Von Mises</i> FEA vs teoritis...	103
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan antara hasil simulasi <i>Von Mises shell</i> FEA vs teoritis.....	104





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>chemical requirements</i> (ASME, 2023)	29
Tabel 2. 2 <i>Mechanical Requirements</i>	30
Tabel 2. 3 Faktor kompresibilitas hydrogen (Valle-falcones et al., 2022).....	36
Tabel 2. 4 Kajian literatur	58
Tabel 4. 1 Ringkasan hasil perhitungan analisis teoritis	87
Tabel 4. 2 Data geometri <i>pressure vessel</i>	88
Tabel 4. 3 Material Properties SA – 372 Grade J	89
Tabel 4. 4 Hasil <i>mesh convergence study</i> pada model <i>pressure vessel</i>	91
Tabel 4. 5 Validasi tegangan teoritis terhadap hasil FEA.....	96
Tabel 4. 6 Ringkasan Hasil Akhir Desain <i>Pressure vessel</i> Penyimpanan Hidrogen	107

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 detail dimensi <i>pressure vessel hydrogen storage</i>	117
Lampiran 2 Layout susunan <i>multi cylinder cascade</i>	118
Lampiran 3 Tabel NPS dan <i>schedule</i> pipa	119
Lampiran 4 Dimensi <i>pipe</i> berdasarkan aplikasi pipedata pro ASME B36.10	120
Lampiran 5 Spesifikasi SA 372 <i>grade J</i> berdasarkan ASME <i>section 2 Part D</i> ...	121
Lampiran 6 Nilai <i>tensile strenght</i> SA 372 <i>grade J</i> berdasarkan ASME <i>section 2 Part D</i>	122
Lampiran 7 Nilai <i>allowable stress</i> SA 372 <i>grade J</i> berdasarkan ASME <i>section 2 Part D</i>	123

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Perkembangan kebutuhan energi global yang terus meningkat mendorong peralihan menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Salah satu alternatif yang saat ini banyak dikembangkan adalah hidrogen, yang dikenal sebagai *clean energy carrier* karena tidak menghasilkan emisi karbon saat digunakan (International Energy Agency, 2022). Hidrogen memiliki fleksibilitas tinggi dalam aplikasi industri, baik sebagai bahan bakar maupun sebagai bahan baku proses kimia, sehingga menjadi komponen penting dalam transisi energi menuju sistem rendah karbon (Züttel, 2003). Dalam industri petrokimia, hidrogen digunakan dalam berbagai proses seperti *hydrotreating* dan *hydrocracking*, sehingga keberadaannya sangat krusial dalam menjaga keberlangsungan operasi produksi.

Industri petrokimia *polypropylene* (PP), kontinuitas pasokan hidrogen merupakan faktor yang sangat penting dalam menjaga kestabilan proses produksi. Gangguan pasokan hidrogen dapat menyebabkan terhentinya proses dan berpotensi menimbulkan kerugian operasional signifikan. Studi kasus dalam penelitian ini dilakukan pada pabrik *polypropylene*, di mana kebutuhan hidrogen dipenuhi oleh fasilitas produksi internal. Namun demikian, fasilitas tersebut memerlukan kegiatan *maintenance* berkala selama sekitar 13 hari. Selama periode tersebut, pasokan hidrogen harus tetap tersedia secara kontinu dengan laju alir sebesar 10 Nm³/jam selama 24 jam sehingga diperlukan sistem cadangan yang mampu menjamin kontinuitas operasi. Satuan Nm³ (*Normal cubic meter*) merupakan satuan volume gas pada kondisi normal, yaitu temperatur 0°C dan tekanan 1 atm, yang umum digunakan dalam industri proses untuk menyatakan laju alir dan kapasitas gas secara standar (Permen ESDM RI Nomor 3 Tahun 2025 Tentang Konservasi Energi Oleh Pemerintah Dan Pemerintah Daerah, 2025). Kondisi ini menuntut adanya sistem cadangan yang mampu menjamin kontinuitas pasokan hidrogen selama periode tersebut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Meskipun sistem penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi telah banyak diterapkan pada berbagai sektor industri, setiap sistem penyimpanan tetap harus dirancang berdasarkan kebutuhan kapasitas, kondisi operasi, serta batasan teknis pengguna. Desain yang digunakan pada suatu industri belum tentu sesuai untuk diterapkan pada industri lain karena adanya perbedaan kebutuhan laju konsumsi hidrogen, tekanan operasi, durasi penyimpanan, konfigurasi sistem, serta keterbatasan ruang instalasi. Oleh karena itu, diperlukan rancangan sistem penyimpanan yang disesuaikan dengan kebutuhan *Polypropylene Plant* sehingga mampu memenuhi kebutuhan kapasitas hidrogen selama periode *maintenance* serta memenuhi persyaratan keselamatan berdasarkan ASME BPVC Section VIII Division 1.

Tanpa perancangan yang disesuaikan dengan kebutuhan aktual, sistem penyimpanan berpotensi mengalami ketidaksesuaian kapasitas maupun spesifikasi teknis. Desain dengan kapasitas yang lebih kecil tidak mampu memenuhi kebutuhan hidrogen selama periode *maintenance* sehingga berpotensi mengganggu kontinuitas operasi. Sebaliknya, desain dengan kapasitas yang terlalu besar dapat menyebabkan penggunaan material yang berlebihan, kebutuhan ruang instalasi yang lebih besar, serta peningkatan biaya fabrikasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan rancangan *pressure vessel* yang sesuai dengan kebutuhan operasional *Polypropylene Plant* serta memenuhi persyaratan kekuatan berdasarkan ASME BPVC Section VIII Division 1.

Dalam penelitian ini, hidrogen disimpan dalam fase gas terkompresi (*compressed hydrogen gas*) (Elberry, Thakur, & Santasalo-aarnio, 2021), dengan tekanan operasi sebesar 15 MPa dan temperatur operasi 298 K. Untuk mengakomodasi kondisi operasi yang cukup ekstrem, dipilih konfigurasi bejana tekan tipe *Modular Multi-Cylinder (Cascade)* yaitu sistem yang menggabungkan banyak tabung silinder berdiameter relatif kecil, disusun paralel dalam satu rak struktural. Konfigurasi ini dipilih karena mampu menjawab tantangan desain tangki hidrogen bertekanan tinggi dengan menampung volume gas besar bertekanan tinggi, namun dengan dinding

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tabung yang lebih tipis secara operasional (Zhu et al., 2024) Dari sisi metalurgi, tabung-tabung ini diproduksi melalui proses penempaan panas (*hot forging*), di mana bagian head dibentuk menyempit secara integral dari badan silinder agar kekuatan strukturalnya tetap homogen. Dengan tekanan operasi yang cukup tinggi yaitu 15 MPa, dalam penelitian ini desain *pressure vessel* mengacu pada ASME BPVC Section VIII Division 1, dengan tekanan desain ditetapkan 1,1 kali tekanan operasi atau setara 16,5 MPa sesuai prinsip bahwa tekanan desain harus berada di atas tekanan operasi aktual (Colin et al., 2019). Mengingat angka tersebut masih berada dalam batas yang diizinkan standar ini (≤ 20 MPa), maka ASME BPVC Section VIII Division 1 tetap relevan digunakan sebagai acuan desain (American Society of Mechanical Engineers, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang aspek mekanikal sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe *Modular Multi-Cylinder Cascade* sesuai standar ASME BPVC Section VIII Division 1 pada *Polypropylene Plant*. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan analisis teknis secara sistematis. Tahap awal mencakup perhitungan termodinamika gas nyata menggunakan faktor kompresibilitas (Z) untuk menentukan volume riil kebutuhan hidrogen, yang kemudian menjadi dasar penentuan jumlah dan konfigurasi tabung. Selanjutnya, berdasarkan kapasitas yang telah ditentukan, dilakukan perhitungan optimasi geometri dan mekanikal untuk menentukan ketebalan dinding minimum (*minimum required thickness*) di badan silinder (*shell*) dan ujung (*head*), dengan pendekatan *thin-wall vessel* sesuai ASME Section VIII Division 1. Tahap akhir berfokus pada pengujian kekuatan material baja terhadap beban tekanan internal desain, untuk mengevaluasi distribusi tegangan utama serta faktor keamanan struktural terhadap risiko *hydrogen embrittlement*. Melalui rangkaian metodologi analisis yang terstruktur ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan rancangan sistem penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi yang memenuhi standar keselamatan industri.

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian mengenai *pressure vessel* hidrogen berfokus pada analisis maupun evaluasi terhadap

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

desain yang telah tersedia (*existing design*), baik dari aspek distribusi tegangan, deformasi, maupun pengaruh *hydrogen embrittlement*. Sementara itu, penelitian yang diawali dari proses perancangan *pressure vessel* berdasarkan kebutuhan kapasitas penyimpanan hidrogen pada aplikasi industri, kemudian divalidasi menggunakan analisis teoritis dan Finite Element Analysis, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada proses perancangan *pressure vessel* yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional *Polypropylene Plant*.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan spesifikasi sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe modular kaskade yang meliputi kapasitas volume, dimensi tangki, dan jumlah unit yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan hidrogen selama periode *maintenance* 13 hari.
2. Penentuan ketebalan minimum *shell* dan *hemispherical head* yang memenuhi persyaratan kekuatan berdasarkan standar ASME Boiler and Pressure vessel Code (BPVC) Section VIII Division 1.
3. Evaluasi distribusi tegangan, deformasi total, dan faktor keamanan *pressure vessel* hidrogen berbahan SA-372 Grade J pada kondisi tekanan desain berdasarkan hasil simulasi *Finite Element Analysis* (FEA).
4. Evaluasi kesesuaian penggunaan material SA-372 Grade J untuk aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi berdasarkan hasil analisis tegangan dan kajian literatur terkait risiko *hydrogen embrittlement*.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Menentukan spesifikasi sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe modular kaskade yang meliputi kapasitas volume, dimensi tangki, dan jumlah unit yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan suplai hidrogen selama periode *maintenance* selama 13 hari.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Menentukan ketebalan minimum *shell* dan *hemispherical head* yang memenuhi persyaratan kekuatan berdasarkan standar ASME Boiler and Pressure vessel Code (BPVC) Section VIII Division 1.
3. Menganalisis distribusi tegangan mekanik, deformasi total, dan faktor keamanan pada *pressure vessel* menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) berdasarkan kondisi tekanan desain yang ditetapkan.
4. Mengevaluasi kesesuaian penggunaan material SA-372 Grade J untuk aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi berdasarkan hasil analisis tegangan dan kajian literatur terkait risiko *hydrogen embrittlement*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, teknis, dan praktis dalam pengembangan sistem penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi, yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian ilmiah mengenai perancangan *pressure vessel* penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1.
2. Memperkaya kajian mengenai pemanfaatan material SA-372 Grade J pada aplikasi penyimpanan hidrogen serta pengaruh lingkungan hidrogen terhadap integritas material.
3. Memberikan metode perancangan *pressure vessel* hidrogen yang meliputi penentuan kapasitas penyimpanan, dimensi tangki, dan ketebalan minimum berdasarkan standar ASME.
4. Memberikan informasi mengenai penggunaan pipa *seamless* SA-372 Grade J sebagai material *pressure vessel* untuk mengurangi potensi konsentrasi tegangan akibat sambungan las.
5. Menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem penyimpanan hidrogen cadangan pada industri petrokimia.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Memberikan alternatif rancangan sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe *Modular Multi-Cylinder Cascade* untuk menjaga kontinuitas pasokan hidrogen selama periode *maintenance*.
7. Mendukung pengembangan teknologi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi yang aman dan sesuai dengan standar internasional.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan menetapkan batasan masalah pada topik yang dikaji agar pelaksanaannya lebih fokus dan sistematis. Adapun batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus dilakukan di *polypropylene plant* (PP) dengan kebutuhan pasokan hidrogen selama masa *maintenance*.
2. Kebutuhan hidrogen sebesar 10 Nm³/jam selama 24 jam dalam periode 13 hari.
3. Fluida yang ditinjau murni berupa gas hidrogen nyata terkompresi (*compressed hydrogen gas*) dengan tekanan operasi sebesar 15 Mpa pada temperatur konstan 298 K.
4. Penelitian ini berfokus murni pada perancangan mekanikal dan analisis struktur komponen *pressure vessel* dengan mengacu pada standar ASME BPVC Section VIII Division 1 (Edisi 2023). Penelitian ini dibatasi dan tidak membahas regulasi maupun spesifikasi instalasi sistem penyimpanan hidrogen stasioner secara menyeluruh, seperti yang diatur dalam NFPA 2 (*Hydrogen Technologies Code*), ISO 19884 (*Gaseous hydrogen — Cylinders and tubes for stationary storage*), atau standar pemipaan ASME B31.12.
5. Analisis kekuatan struktur dan distribusi tegangan lokal dievaluasi menggunakan metode simulasi elemen hingga (*Finite Element Analysis* / *FEA*) berbasis *software* komputer pada kondisi pembebanan statis (*static loading*).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Penelitian ini murni berfokus pada kekuatan mekanikal tabung penyimpanan (*vessel structure*). Perhitungan detail mengenai kekuatan struktur rak penumpang (*skid/scaffolding*), sistem perpipaan eksternal pabrik (*external piping layout*), instrumen katup, serta aspek pondasi sipil (*civil foundation*) tidak dibahas dalam skripsi.
7. Evaluasi terhadap fenomena pengetasan hidrogen (*hydrogen embrittlement*) didasarkan pada tinjauan literatur (*literature review*) serta batasan tegangan izin (*allowable stress*) material, tidak mencakup pengujian laboratorium secara eksperimental langsung.
8. Penelitian tidak membahas aspek ekonomi, analisis biaya investasi, biaya operasional, maupun studi kelayakan ekonomi sistem penyimpanan hidrogen.

1.6. Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian mengenai kebutuhan sistem penyimpanan hidrogen pada *Polypropylene Plant* selama periode *maintenance*, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi karakteristik hidrogen, aspek keselamatan penyimpanan hidrogen, teknologi penyimpanan hidrogen, *pressure vessel* untuk layanan hidrogen, standar desain ASME BPVC, pemilihan material *pressure vessel*, *hydrogen embrittlement*, dasar teori tegangan pada bejana tekan, serta teori simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*).

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan, meliputi pengumpulan data, penentuan kebutuhan hidrogen, perhitungan termodinamika gas nyata, perancangan kapasitas penyimpanan, pemilihan material, perhitungan ketebalan *pressure vessel* berdasarkan standar ASME,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pembuatan model tiga dimensi (3D CAD), simulasi numerik menggunakan ANSYS, serta metode evaluasi hasil simulasi dan analisis *hydrogen embrittlement*.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil perhitungan dan analisis desain tangki penyimpanan hidrogen. Pembahasan meliputi perhitungan kebutuhan hidrogen, penentuan kapasitas dan jumlah tangki, pemilihan material, perhitungan ketebalan *shell* dan *head*, pemodelan geometri tangki, hasil simulasi ANSYS berupa distribusi tegangan, deformasi, faktor keamanan, serta evaluasi risiko *hydrogen embrittlement* dan kesesuaian desain terhadap standar yang digunakan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya terkait desain *pressure vessel* dan sistem penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, perhitungan teoritis, simulasi numerik, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penyimpanan hidrogen *on-site* tipe *Modular Multi-Cylinder Cascade* mampu memenuhi kebutuhan pasokan hidrogen pada *Polypropylene Plant* selama periode *maintenance* selama 13 hari dengan kebutuhan hidrogen sebesar 10 Nm³/jam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem penyimpanan memerlukan 16 unit *pressure vessel* dengan volume penyimpanan yang mampu memenuhi kebutuhan hidrogen selama periode tersebut.
2. Perancangan *pressure vessel* berdasarkan ASME Boiler and Pressure vessel Code Section VIII Division 1 menghasilkan dimensi tangki dengan diameter dalam sebesar 560,78 mm dan panjang *shell* sebesar 6000 mm. Ketebalan minimum yang diperoleh untuk *shell* dan *hemispherical head* memenuhi persyaratan kekuatan terhadap tekanan desain sebesar 16,5 MPa sehingga *pressure vessel* memenuhi ketentuan desain berdasarkan standar yang digunakan.
3. Hasil analisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* menunjukkan bahwa nilai *Equivalent Von Mises Stress* maksimum sebesar 191,12 MPa, sedangkan tegangan pada bagian *shell* sebesar 160,42 MPa. Nilai tegangan tersebut masih berada di bawah *Allowable Stress* material SA-372 Grade J sebesar 207 MPa. Deformasi maksimum yang terjadi sebesar 1,219 mm dan faktor keamanan terhadap tegangan luluh sebesar 2,3546 menunjukkan bahwa *pressure vessel* masih bekerja pada daerah elastis dan memiliki integritas struktural yang baik.
4. Material SA-372 Grade J dinilai sesuai untuk aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi karena memiliki *yield strength* sebesar 450

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

MPa, *tensile strength* sebesar 725 MPa, serta *Allowable Stress* sebesar 207 MPa pada temperatur operasi. Selain memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, material ini tersedia dalam bentuk pipa *seamless* yang mampu mengurangi potensi konsentrasi tegangan akibat sambungan las. Berdasarkan hasil analisis tegangan dan kajian literatur mengenai *hydrogen embrittlement*, material SA-372 Grade J menunjukkan kesesuaian untuk digunakan pada *pressure vessel* penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi dalam batasan penelitian yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa desain *pressure vessel* berbahan SA-372 Grade J yang dirancang berdasarkan ASME BPVC Section VIII Division 1 mampu memenuhi kebutuhan kapasitas penyimpanan, persyaratan kekuatan struktur, serta aspek keselamatan operasi untuk aplikasi penyimpanan hidrogen bertekanan tinggi pada *Polypropylene Plant*.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian eksperimental terhadap material SA-372 Grade J untuk mengevaluasi ketahanan terhadap *hydrogen embrittlement* secara langsung.
2. Analisis numerik dapat dikembangkan menggunakan simulasi termal dan siklus pengisian serta pengosongan hidrogen untuk mengevaluasi pengaruh fluktuasi tekanan dan temperatur terhadap integritas struktur *pressure vessel*.
3. Kajian mengenai tegangan sisa akibat proses manufaktur, perlakuan panas, dan proses pengelasan pada komponen pendukung dapat dilakukan untuk memperoleh evaluasi yang lebih komprehensif.
4. Penelitian berikutnya dapat mempertimbangkan analisis *fatigue* dan *fracture mechanics* untuk memprediksi umur layan *pressure vessel* pada kondisi operasi jangka panjang.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Analisis ekonomi dan optimasi jumlah *pressure vessel* pada sistem *cascade storage* dapat dilakukan untuk memperoleh konfigurasi penyimpanan yang lebih efisien dari sisi teknis maupun biaya investasi.
6. Evaluasi terhadap komponen pendukung seperti sistem perpipaan, *manifold*, *valve*, struktur penyangga, dan fondasi dapat dilakukan agar sistem penyimpanan hidrogen dapat dianalisis secara menyeluruh.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- A. Mohan, S. Julyes Jaisingh, C. P. G. P. (2021). Effect of autofrettage on the ultimate behavior of thick cylindrical pressure vessels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 194*.
- American Petroleum Institute. (2020). *API 941, ADDENDUM 1 2020*.
- American Society of Mechanical Engineers. (2019). *ASME B31 12 2019 Hydrogen Piping and Pipelines 1*.
- American Society of Mechanical Engineers. (2022). *ASME Steel Pipe Dimensions Chart ANSI B36.10 & 36.19*. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers. (2023). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels* (2023rd ed.). The American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org/cer
- Andrei Iliescu, A., Perlea, P., Georgiana Iliescu, M., & Maria Gheorghiu, I. (2018). MILLING MACHINES TOOLS USED IN CAD-CAM TECHNOLOGY OF DENTAL PROSTHESES. *Romanian Journal of Oral Rehabilitation, 10*(4).
- ASME, A. S. of M. E. (2023). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II: Materials, Part D: Properties*. ASME.
- Barrera, O., Bombac, D., Chen, Y., Daff, T. D., Gong, P., & Haley, D. (2018). Understanding and mitigating hydrogen embrittlement of steels : a review of experimental , modelling and design progress from atomistic to continuum. *Journal of Materials Science, 53*(9), 6251–6290. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1978-5>
- Beer, F. P. ., Johnston, E. Russell., DeWolf, J. T. ., & Mazurek, D. F. . (2015). *Mechanics of materials*. McGraw-Hill Education.
- Callister, W. D., & Rethwish, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering An Introduction* (A. Ratts, A. Giattino, A. Alecci, A. Patterson, & M. A. Price, Eds.; 10th ed.). Wiley.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Caponi, R., Monforti, A., Bocci, E., & Bødker, S. (2022). ScienceDirect Single-tank storage versus multi-tank cascade system in hydrogen refueling stations for fuel cell buses. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(64), 27633–27645. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.100>
- Cengel Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach, 8th ed* (B. Stenquist, Ed.; 8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Cheng, Q., Zhang, R., Shi, Z., & Lin, J. (2024). Review of common hydrogen storage tanks and current manufacturing methods for aluminium alloy tank liners. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 7(2), 269–284. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.08.002>
- Colin, Buckthorpe, D., Gong, Z., & Yan, C. (2019). *A critical review and analysis of pressure vessel structures*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/469/1/012009>
- Costa, A. L. M. (2022). CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO DO CRITÉRIO DE ESCOAMENTO DE VON MISES. *Revista de Ensino de Engenharia*, 41(1), 433–445. <https://doi.org/10.37702/ree2236-0158.v41p433-445.2022>
- Elberry, A. M., Thakur, J., & Santasalo-aarnio, A. (2021). ScienceDirect Large-scale compressed hydrogen storage as part of renewable electricity storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(29), 15671–15690. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.02.080>
- Giannini, L., Razavi, N., Alvaro, A., & Paltrinieri, N. (2024). Embrittlement, degradation, and loss prevention of hydrogen pipelines. *MRS Bulletin*, 49(5), 464–477. <https://doi.org/10.1557/s43577-024-00695-9>
- Harris, Z. D., & Somerday, B. P. (2025). Hydrogen embrittlement of steels: Mechanical properties in gaseous hydrogen. In *International Materials Reviews* (Vol. 70, Number 5, pp. 394–421). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/09506608251338698>
- Hu, J., Shen, X., Fu, Z., Wang, Q., & Fan, Z. (2023). *Mechanistic study on hydrogen effects in propylene polymerization with MgCl 2-supported Ziegler-Natta catalysts: New evidences from active center counting and reaction kinetics*. <https://ssrn.com/abstract=4577760>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- International Energy Agency. (2022). *Global Hydrogen Review 2022*.
www.iea.org/t&c/
- International Energy Agency. (2025). *Global Hydrogen Review 2025*.
www.iea.org
- Jan Počta, I., Michal Baštinský, I., Vítkovice Steel, E., Ing Karol Hala, as, Steel Košice, U., Henryk Huczala, I., Železářny, T., Ing František Kavička, as, Brně Ing Ludvík Martínek, V., Ing Karel Matocha, as, METALURGICKÝ VÝZKUM sro Ing Radim Pachlopník, M. A., Ostrava, A., Ing Ľudovít Páriľák, as, VVC sro Ing Jiří Petržela, Ž., Heavy Machinery, V., Ing Jaroslav Pindor, as, METALURGICKÝ VÝZKUM sro Ing Vladimír Toman, M. A., železa, H., Ing Karel Tomášek, as, ... Juřica, M. (2013). *Vedoucí redaktor Redakční rada Grafika záhlaví a podkladu na titulní straně Tisk Registrační číslo Mezinárodní standardní číslo*. www.metallurgicaljournal.eu
- Lemmon, E. W., Huber, M. L., & Leachman, J. W. (2008). *Revised Standardized Equation for Hydrogen Gas Densities for*. 113(6), 341–350.
- Masu, L. M. (1997). *Cross bore configuration and size effects on the stress distribution in thick-walled cylinders*. 0161(97), 171–176.
- Mazarire, T., Galloway, A., & Toumpis, A. (2026). *Conceptual Design of an Internally Reinforced Pressure Vessel for Hydrogen Storage in Heavy-Duty Fuel Cell Vehicles*. 1–17.
- Mech, A. (2016). *Von Mises hypothesis revised*. <https://doi.org/10.1007/s00707-016-1706-2>
- Megyesi, E. F. (2008). *Pressure Vessel Handbook* (14th ed.). PV Publishing.
- Mehrabianbardar, A., Shirinbayan, M., Jendli, Z., Gillet, S., Nouria, S., & Fitoussi, J. (2025). A review: challenges, processes, and innovations in high-pressure hydrogen storage technologies. In *International Journal of Material Forming* (Vol. 18, Number 3). Springer-Verlag Italia s.r.l.
<https://doi.org/10.1007/s12289-025-01934-3>
- Moga, R. A., Olteanu, C. D., Daniel, B. M., & Buru, S. M. (2023b). Finite Elements Analysis of Tooth—A Comparative Analysis of Multiple Failure



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Criteria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054133>
- Moss, D. R. (2013). *MOSS_Pressure Vessel Design Manual (Ed. 3rd)* (3rd ed.). Elsevier.
- Permen ESDM RI Nomor 3 Tahun 2025 Tentang Konservasi Energi Oleh Pemerintah Dan Pemerintah Daerah, Pub. L. 3, Permen ESDM Nomor 3 Tahun 2025 (2025).
- Rajput, A. S., Arya, P. K., & Jurwall, V. (2026). Hydrogen embrittlement in automotive steels: a review. In *Discover Materials* (Vol. 6, Number 1). Discover. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00529-8>
- Ratoi, A., & Munteanu, C. (2024). *The Potential of Polymers and Glass to Enhance Hydrogen Storage Capacity : A Mathematical Approach*.
- Rivkin, C., Burgess, R., & Buttner, W. (2015). *Hydrogen Technologies Safety Guide*. www.nrel.gov/publications.
- Roylance, D. (2001). Finite element analysis. *Dep. Mater. Sci. Eng. Massachusetts Inst. Technol. Cambridge, MA 02139*. https://doi.org/doi:10.1007/978-3-319-20777-3_4.
- San, C., & Somerday, M. B. P. (2012). *SANDIA REPORT Technical Reference for Hydrogen Compatibility of Materials*. <http://www.ntis.gov/help/ordermethods.asp?loc=7-4-0#online>
- Satrijo, D., & dan Syarief Afif Habsya. (2012). PERANCANGAN DAN ANALISATEGANGAN PADA BEJANA TEKAN HORIZONTAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *ROTASI J. Tek. Mesin*, 14, 32–40.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbot, M. M. (2005). *Introduction To Chemical Engineering Thermodynamic* (6th ed.). Mc Graw Hill.
- Soliman, A. A., Megahed, M. M., Saleh, C. A. R., & Shazly, M. (2018). Pressure carrying capacities of thin walled pipes suffering from random colonies of pitting corrosion. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2018.08.003>

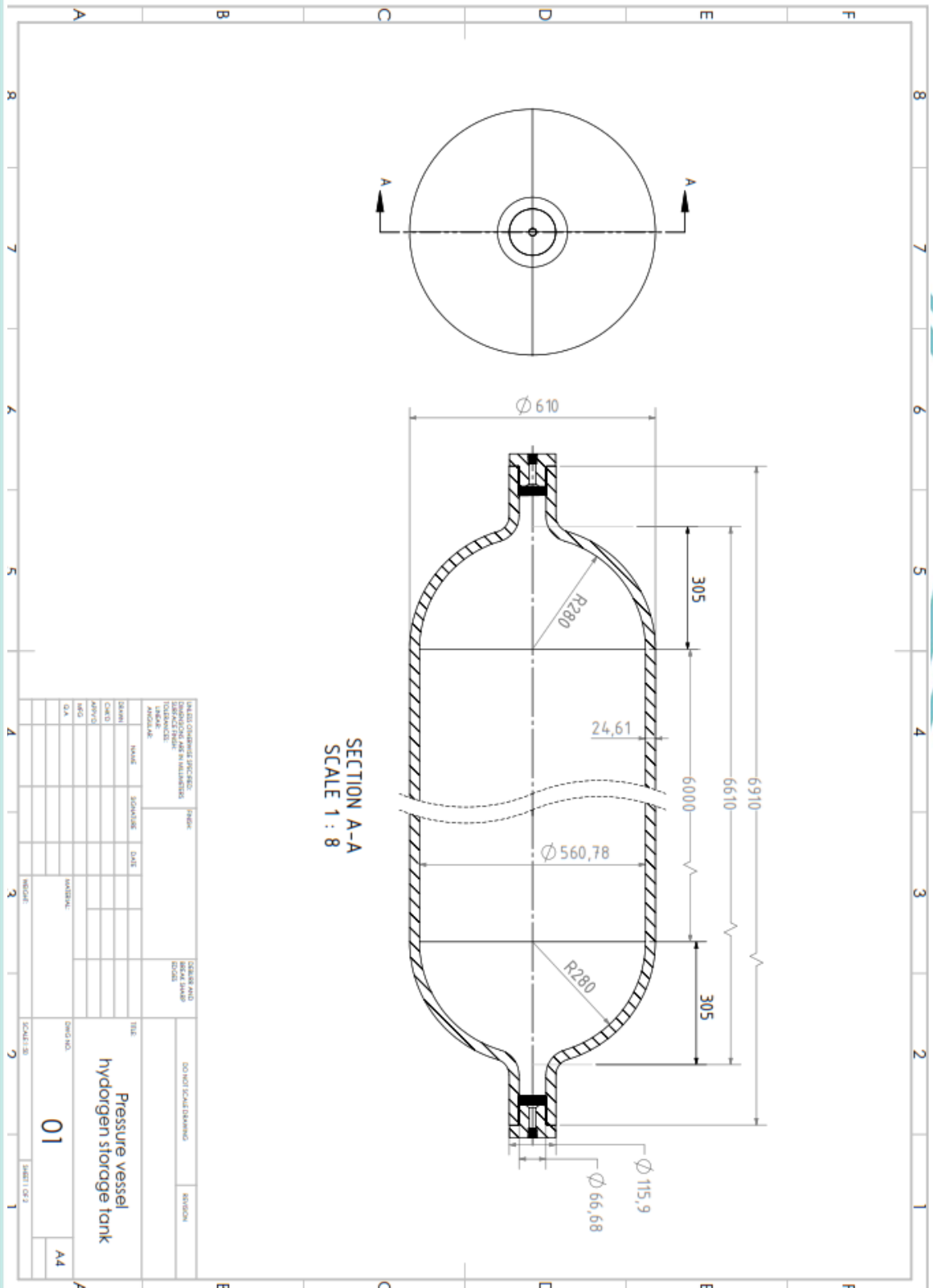
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

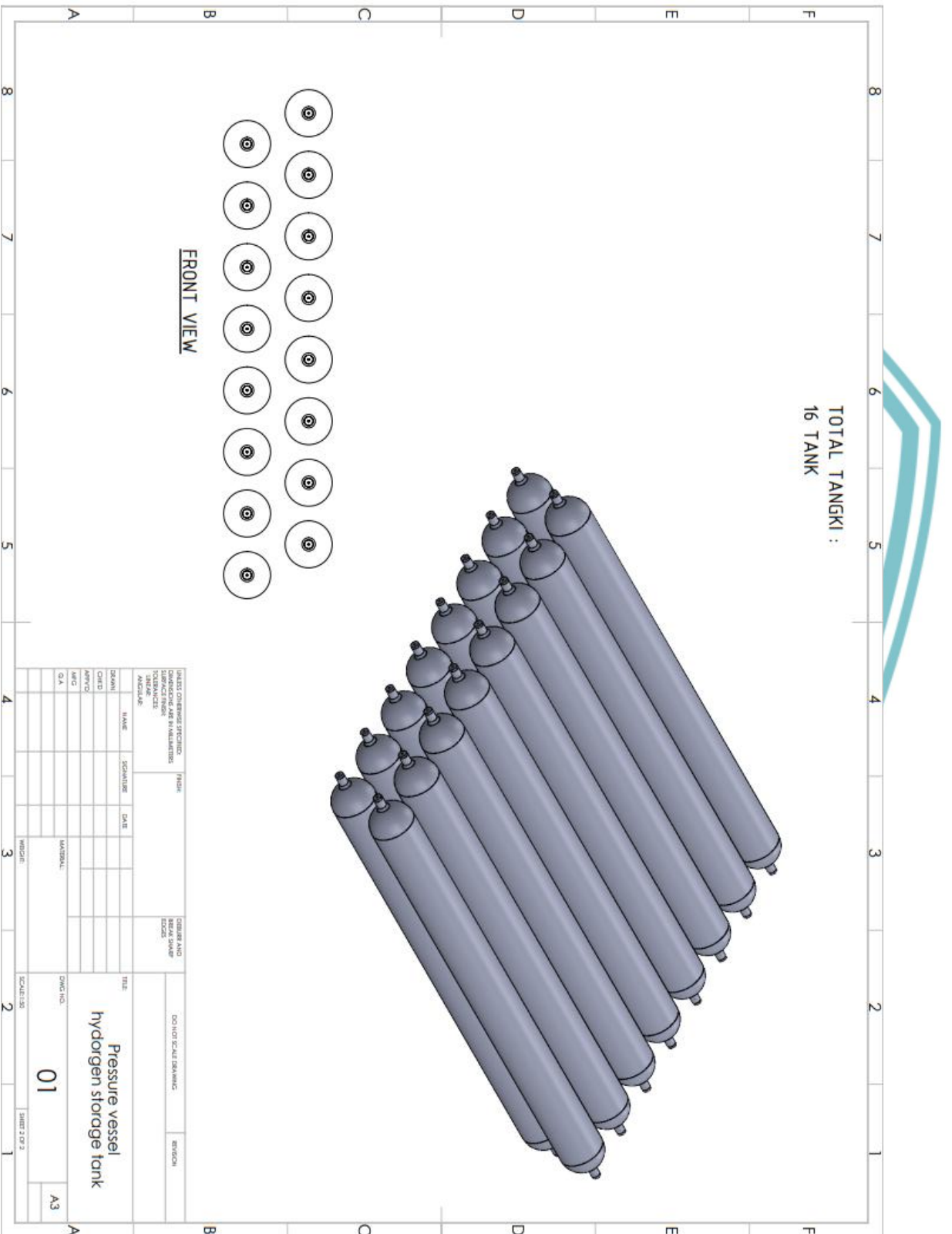
- Valle-falcones, L. M., Grima-olmedo, C., Mazadiego-mart, L. F., Hurtado-bezos, A., & Eguilior-d, S. (2022). *applied sciences Green Hydrogen Storage in an Underground Cavern : A Case Study in Salt Diapir of Spain*.
- Velásquez-Barrios, A., Rueda-Duran, C., Mogollón, E., Carlos Alvarez, J., Cardona, R., & Ariel Cardona-Alzate, C. (2019). Analysis of the environmental impact using the Waste Reduction Algorithm WAR in polypropylene process production by applying grade Transitions strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35533–35542. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06680-3>
- Wadkar, V. V, Malgave, S. S., Patil, D. D., Bhore, H. S., & Gavade, P. P. (2015). DESIGN AND ANALYSIS OF PRESSURE VESSEL USING ANSYS. *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)*, 3(2), 1–13. <http://iaeme.com/Home/issue/JMET?Volume=3&Issue=2>
[http://iaeme.com/H](http://iaeme.com/Home/issue/JMET?Volume=3&Issue=2)
[ome/issue/JMET?Volume=3&Issue=2](http://iaeme.com/Home/issue/JMET?Volume=3&Issue=2)
- Wang, Y. (2020). *Steel – Concrete Composite Pressure Vessels for Hydrogen Storage at High Pressures*. 142(April), 1–10. <https://doi.org/10.1115/1.4044164>
- Yan, C. Y. (2026). *INTRODUCTION TO ENGINEERING THERMODYNAMICS*. LibreTexts. <https://LibreTexts.org>
- Yang, N., Deng, J., Wang, C., Bai, Z., & Qu, J. (2024). High pressure hydrogen leakage diffusion: Research progress. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 50, pp. 1029–1046). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.221>
- Zhu, S., Du, B., Lu, X., Xie, C., Li, Y., Huang, Y., Zhang, L., & Zhao, B. (2024). Design and optimization of a cascade hydrogen storage system for integrated energy utilization. *Journal of Energy Storage*, 96(March), 112732. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112732>
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals* (6th ed.). Elsevier. www.cimne.upc.es
- Züttel, A. (2003). Materials for hydrogen storage. In *materialst*.

LAMPIRAN SKRIPSI

Lampiran 1 detail dimensi *pressure vessel hydrogen storage*



Lampiran 2 Layout susunan *multi cylinder cascade*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Tabel NPS dan *schedule* pipa



Steel Pipe Dimensions Chart ANSI B36.10 & 36.19

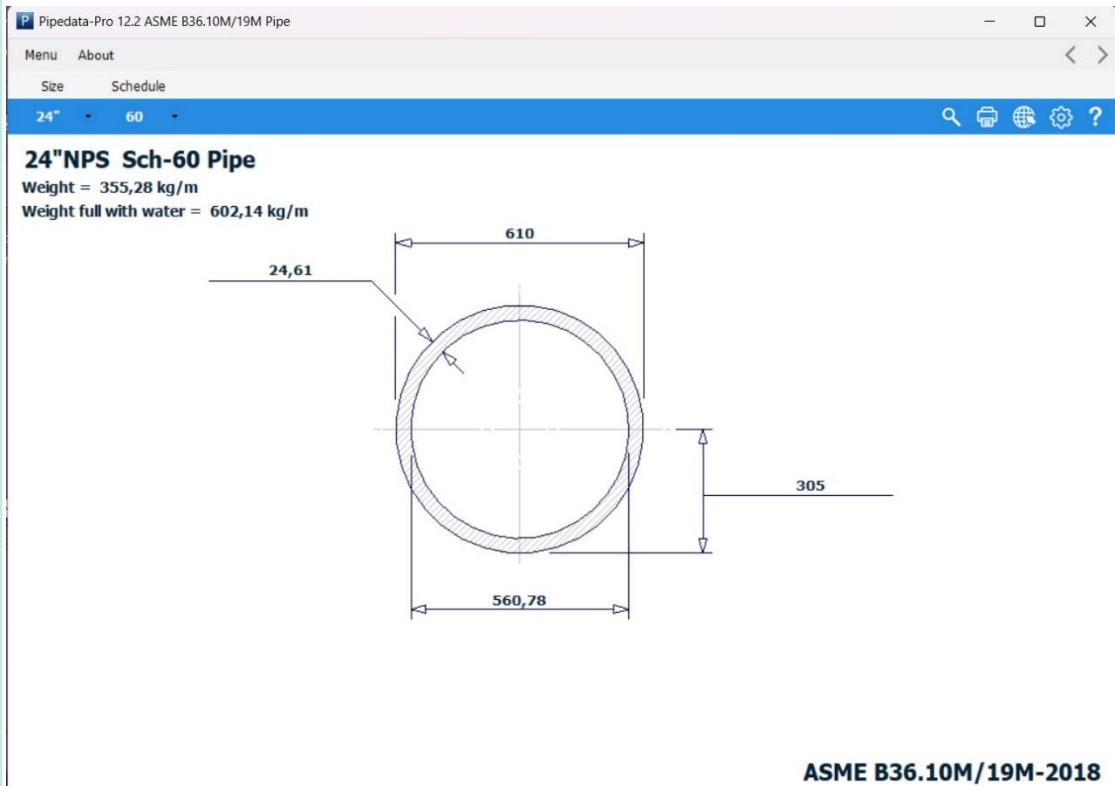
Nominal Pipe Size		Outside Diameter (mm)	Nominal Wall Thickness Schedule																	
NPS	DN		OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS
1/8	6	10.3		1.24				1.73	1.73	1.73		2.41	2.41	2.41						
1/4	8	13.7		1.65				2.24	2.24	2.24		3.02	3.02	3.02						
3/8	10	17.1		1.65				2.31	2.31	2.31		3.20	3.20	3.20						
1/2	15	21.3	1.65	2.11				2.77	2.77	2.77		3.73	3.73	3.73					4.78	7.47
3/4	20	26.7	1.65	2.11				2.87	2.87	2.87		3.91	3.91	3.91					5.56	7.82
1	25	33.4	1.65	2.77				3.38	3.38	3.38		4.55	4.55	4.55					6.35	9.09
1 1/4	32	42.2	1.65	2.77				3.56	3.56	3.56		4.85	4.85	4.85					6.35	9.70
1 1/2	40	48.3	1.65	2.77				3.68	3.68	3.68		5.08	5.08	5.08					7.14	10.15
2	50	60.3	1.65	2.77				3.91	3.91	3.91		5.54	5.54	5.54					8.74	11.07
2 1/2	65	73	2.11	3.05				5.16	5.16	5.16		7.01	7.01	7.01					9.53	14.02
3	80	88.9	2.11	3.05				5.49	5.49	5.49		7.62	7.62	7.62					11.13	15.24
3 1/2	90	101.6	2.11	3.05				5.74	5.74	5.74		8.08	8.08	8.08						
4	100	114.3	2.11	3.05				6.02	6.02	6.02		8.56	8.56	8.56		11.13			13.49	17.12
5	125	141.3	2.77	3.40				6.55	6.55	6.55		9.53	9.53	9.53		12.70			15.88	19.05
6	150	168.3	2.77	3.40				7.11	7.11	7.11		10.97	10.97	10.97		14.27			18.26	21.95
8	200	219.1	2.77	3.76		6.35	7.04	8.18	8.18	8.18	10.31	12.70	12.70	12.70	15.09	18.26	20.62	23.01	22.23	
10	250	273.1	3.40	4.19		6.35	7.80	9.27	9.27	9.27	12.70	12.70	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40	
12	300	323.9	3.96	4.57		6.35	8.38	9.53	9.53	10.31	14.27	12.70	12.70	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40	
14	350	355.6	3.96	4.78	6.35	7.92	9.53		9.53	11.13	15.09		12.70	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71		
16	400	406.4	4.19	4.78	6.35	7.92	9.53		9.53	12.70	16.66		12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49		
18	450	457.2	4.19	4.78	6.35	7.92	11.13		9.53	14.27	19.05		12.70	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24		
20	500	508	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70		9.53	15.09	20.62		12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01		
22		559	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70		9.53		22.23		12.70	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98		
24	600	610	5.54	6.35	6.35	9.53	14.27		9.53	17.48	24.61		12.70	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54		
26		660			7.92	12.70			9.53				12.70							
28	700	711			7.92	12.70	15.88		9.53				12.70							
30		762	6.35	7.92	7.92	12.70	15.88		9.53				12.70							
32	800	813			7.92	12.70	15.88		9.53	17.48			12.70							
34		884			7.92	12.70	15.88		9.53	17.48			12.70							
36	900	914			7.92	12.70	15.88		9.53	19.05			12.70							
38		965							9.53				12.70							
40	1000	1016						9.53		12.70										
42		1067				12.70	15.88		9.53	19.05			12.70							
44	1100	1118							9.53				12.70							
46		1168							9.53				12.70							
48	1200	1219							9.53			12.70								
52		1321																		
56	1422																			
60	1524																			

For pipe schedule chart in inch and more explanations please visit: <http://www.octalsteel.com/steel-pipe-dimensions-sizes>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Dimensi *pipe* berdasarkan aplikasi pipedata pro ASME B36.10



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Spesifikasi SA 372 grade J berdasarkan ASME section 2 Part D

ASME BPVC.II.D.M-2023

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Division 1, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/ Thickness, mm	P-No.	Group No.
1	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}-\text{Si}$	Plate	SA-517	A	K11856	—	≤ 32	11B	1
2	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}-\text{Si}$	Forgings	SA-592	A	K11856	—	≤ 65	11B	1
3	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. pipe	SA-335	P2	K11547	—	—	3	1
4	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forged pipe	SA-369	FP2	K11547	—	—	3	1
5	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA-387	2	K12143	1	—	3	1
6	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. pipe	SA-691	$\frac{1}{2}\text{Cr}$	K12143	—	—	3	1
7	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. pipe	SA-691	$\frac{1}{2}\text{Cr}$	K12143	—	—	3	1
8	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. tube	SA-213	T2	K11547	—	—	3	1
9	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. tube	SA-250	T2	K11547	—	—	3	1
10	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. tube	SA-250	T2S1	K11547	—	—	3	1
11	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Cast pipe	SA-426	CP2	J11547	—	—	3	1
12	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-182	F2	K12122	—	—	3	2
13	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA-387	2	K12143	2	—	3	2
14	$\frac{1}{2}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. pipe	SA-691	$\frac{1}{2}\text{Cr}$	K12143	—	—	3	2
15	$\frac{3}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Ni}-\text{Cu}$	Smls. & wld. tube	SA-423	1	K11535	—	—	4	2
16	$\frac{3}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Ni}-\text{Cu}$	Wld. tube	SA-423	1	K11535	—	—	4	2
17	$\frac{3}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Ni}-\text{Cu}-\text{Al}$	Pipe	SA-333	4	K11267	—	—	4	2
18	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	E	K13047	55	—	—	—
19	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	F	G41350	55	—	—	—
20	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	J	K13548	55	—	—	—
21	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	E	K13047	65	—	—	—
22	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	F	G41350	65	—	—	—
23	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	J	K13548	65	—	—	—
24	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	E	K13047	70	—	—	—
(23) 25	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	F	G41350	70	—	—	—
26	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	J	K13548	70	—	—	—
27	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-372	J	G41370	110	—	—	—
28	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA-387	12	K11757	1	—	4	1
29	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. pipe	SA-691	1CR	K11757	—	—	4	1
30	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Cast pipe	SA-426	CP12	J11562	—	—	4	1
31	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA-182	F12	K11562	1	—	4	1
32	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. tube	SA-213	T12	K11562	—	—	4	1
33	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. & wld. fittings	SA-234	WP12	K12062	1	—	4	1
34	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. tube	SA-250	T12	K11562	—	—	4	1
35	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Wld. tube	SA-250	T12S1	K11562	—	—	4	1
36	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. pipe	SA-335	P12	K11562	—	—	4	1
37	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forged pipe	SA-369	FP12	K11562	—	—	4	1
38	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA/EN 10222-2	13CrMo4-5	—	NT or QT	$250 < t \leq 500$	4	1
39	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	—	—	$150 < t \leq 250$	4	1
40	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	—	—	$100 < t \leq 150$	4	1
41	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA/GB 713	15CrMoR	—	NT	$100 < t \leq 200$	4	1
42	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA/EN 10222-2	13CrMo4-5	—	NT or QT	$100 < t \leq 250$	4	1
43	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Plate	SA/EN 10028-2	13CrMo4-5	—	—	$60 < t \leq 100$	4	1
44	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Forgings	SA/EN 10222-2	13CrMo4-5	—	NT or QT	$70 < t \leq 100$	4	1
45	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	Smls. tube	SA/EN 10216-2	13CrMo4-5	—	—	$40 < t \leq 60$	4	1

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6 Nilai *tensile strenght* SA 372 grade J berdasarkan ASME section 2 Part D

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Division 1, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Min. Tensile Strength, MPa	Min. Yield Strength, MPa	Applicability and Max. Temperature Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)				External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1	XII		
1	795	690	NP	343 (SPT)	343	343	HT-1	...
2	795	690	NP	343 (SPT)	343	343	HT-1	...
3	380	205	538	371	538	343	CS-2	T5
4	380	205	538	371	538	343	CS-2	T5
5	380	230	538	371	538	343	CS-2	T5
6	380	230	NP	371	NP	NP	CS-2	G26, W10, W12
7	380	230	NP	149 (CL 3 only)	NP	NP	CS-2	G27, W10, W12
8	415	205	538	371	538	343	CS-2	T5
9	415	205	538	NP	NP	NP	CS-2	G3, T5
10	415	205	538	NP	NP	NP	CS-2	T5, W13
11	415	205	NP	371	NP	NP	CS-2	G17
12	485	275	538	NP	538	343	CS-2	T5
13	485	310	NP	371	538	343	CS-3	T5
14	485	310	NP	371	NP	NP	CS-3	G26, W10, W12
15	415	255	371	NP	343	NP	CS-2	W13, W14
16	415	255	371	NP	343	NP	CS-2	G3, G24
17	415	240	NP	371	343	NP	CS-2	...
18	585	380	NP	NP	315	315	CS-3	W11
19	585	380	NP	NP	315	315	CS-3	W11
20	585	380	NP	NP	315	315	CS-3	W11
21	725	450	NP	NP	343	343	CS-2	W11
22	725	450	NP	NP	315	315	CS-3	W11
23	725	450	NP	NP	343	343	CS-2	W11
24	825	485	NP	NP	343	343	CS-5	W11
25	825	485	NP	NP	343	343	CS-5	W11
26	825	485	NP	NP	343	343	CS-5	W11
27	930	760	NP	NP	343	343	HT-1	W11
28	380	230	649	371	649	NP	CS-2	S4, T5
29	380	230	NP	371	NP	NP	CS-2	G26, W10, W12
30	415	205	NP	371	NP	NP	CS-2	G17
31	415	220	649	NP	649	NP	CS-2	T5
32	415	220	649	371	649	NP	CS-2	S4, T5
33	415	220	649	371	649	NP	CS-2	S4, T5, W14
34	415	220	649	NP	NP	NP	CS-2	G3, S4, T5
35	415	220	649	NP	NP	NP	CS-2	S4, T5, W13
36	415	220	649	371	649	NP	CS-2	S4, T5
37	415	220	649	371	649	NP	CS-2	S4, T5
38	420	240	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
39	420	245	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
40	430	255	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
41	440	255	649	NP	NP	NP	CS-2	S4, T4
42	440	265	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
43	440	270	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
44	440	275	649	NP	649	NP	CS-2	S4, T4
45	440	280	649	NP	649	NP	CS-2	T4

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 7 Nilai *allowable stress* SA 372 grade J berdasarkan ASME section 2 Part D

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Division 1, Classes 2 and 3; Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding															
No.	40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	
1	227	227	227	227	227	227	227	227	227	226	---	---	---	---	---	
2	227	227	227	227	227	227	227	227	227	226	---	---	---	---	---	
3	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	106	103	100	97.1	
4	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	106	103	100	97.1	
5	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	106	103	
6	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	---	---	---	---	
7	108	108	108	108	108	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
8	118	118	118	118	118	118	117	114	112	110	108	106	103	100	97.1	
9	100	100	100	100	100	100	99.6	96.7	95.5	93.8	91.5	90.2	87.7	85.3	82.4	
10	118	118	118	118	118	118	117	114	112	110	108	106	103	100	97.1	
11	118	118	118	118	118	118	117	114	112	110	108	---	---	---	---	
12	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	137	134	130	
13	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	135	130	
14	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	---	---	---	---	
15	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	---	---	---	---	
16	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	---	---	---	---	
17	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	---	---	---	---	
18	167	167	167	167	167	167	167	167	167	---	---	---	---	---	---	
19	167	167	167	167	167	167	167	167	167	---	---	---	---	---	---	
20	167	167	167	167	167	167	167	167	167	---	---	---	---	---	---	
21	207	207	207	207	207	207	207	207	207	205	---	---	---	---	---	
22	207	207	207	207	207	207	207	207	207	---	---	---	---	---	---	
23	207	207	207	207	207	207	207	207	207	205	---	---	---	---	---	
24	236	236	236	236	236	236	236	236	236	235	---	---	---	---	---	
25	236	236	236	236	236	236	236	236	236	235	---	---	---	---	---	
26	236	236	236	236	236	236	236	236	236	235	---	---	---	---	---	
27	265	260	254	254	253	252	249	248	245	234	---	---	---	---	---	
28	108	107	106	105	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	102	
29	108	107	106	105	104	104	104	104	104	104	104	---	---	---	---	
30	118	117	116	115	114	112	109	106	104	103	102	---	---	---	---	
31	118	118	115	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
32	118	117	116	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
33	118	117	116	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
34	100	100	98.2	97.0	96.5	96.5	96.5	95.8	94.7	93.4	92.2	91.0	89.7	87.9	85.7	
35	118	118	115	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
36	118	117	116	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
37	118	117	116	114	114	114	114	113	112	110	109	107	106	103	101	
38	120	120	118	116	115	114	114	114	114	114	114	114	114	113	110	
39	120	120	117	116	116	116	115	115	115	115	115	115	115	115	112	
40	123	123	120	119	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	116	
41	126	126	123	122	121	121	118	115	114	112	111	109	107	105	103	
42	126	126	124	122	121	120	120	120	120	120	120	120	120	120	117	
43	126	126	123	122	121	121	121	121	121	121	121	121	121	120	119	
44	126	126	124	122	121	120	120	120	120	120	120	120	120	120	117	
45	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	123	118	



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Riwayat Hidup



Nama Lengkap	: Mohamad Prais Fauzan
NIM	: 2202431055
Tempat, Tanggal Lahir	: Jakarta, 23 Februari 2004
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Alamat	: Cipinang Galur Kulon No. 10 RT 007/002, Cipinang Besar Selatan, Jatinegara, Jakarta Timur
6. Email	: mohamad.prais.fauzan.tm22@mhsw.pnj.ac.id
7. Pendidikan	
SD (2010-2016)	: SDIT Al-Marjan
SMP (2016-2019)	: SMPN 157 Jakarta
SMA (2019-2022)	: SMAN 91 Jakarta
8. Program Studi	: Teknologi Rekayasa Konversi Energi
9. Bidang Peminatan	: -
10. Tempat/Topik	: <i>Polypropylene Plant</i>