

**STUDI LIMIT TEKANAN DAN ANALISIS *STRESS* PADA TANKI
SEPARATOR DUA FASA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PANAS BUMI**

(Tesis)

Oleh

**BAGAS PRABOWO
NPM 2125021006**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK
Study Limit Load dan Distribusi *Stress* pada Perancangan Separator Dua Fasa pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Bagas Prabowo^a, Asnawi Lubis^{b,1}, Jamiatul Akmal^b, Harmen^b, Zuhendri Hasymi^b

^aMahasiswa Magister Teknik Mesin, Universitas Lampung

^bDosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung

Separator dua fasa merupakan komponen penting pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi. Fungsi utama separator adalah memisahkan fasa cair dari campuran fluida pada panas bumi dan memastikan fasa uap yang masuk ke dalam untuk menggerakkan turbin merupakan fasa uap yang kering. Jurnal ini menyajikan hasil dari *study* elemen hingga untuk menentukan *limit load* (*internal pressure*) dan untuk mengetahui distribusi *stress* pada *vertical cyclone separator tank* yang didesain dengan tiga metode yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi yaitu metode Bangma, metode Lazalde-Crabtree, dan metode Spiral-Inlet. Desain tersebut memiliki perbedaan yang mendasar pada struktur *opening* pada *main shell inlet* dua fasa yang digunakan untuk mendapatkan efek gaya sentrifugal untuk memisahkan fasa uap dan fasa cair. *Opening* pada *shell* menyebabkan berkurangnya kemampuan pada *shell* untuk menahan *internal pressure load*. Separator didesain untuk kapasitas uap 327.27 ton/h, yang merupakan separator dua fasa di PGE unit 3 dan 4 Ulu Belu, Lampung, Indonesia. Tekanan desain (P_d) dan suhu adalah 1355 kPa dan 200°C. Dengan kondisi desain tersebut, diameter *inlet* pipa menuju *main shell* separator (D_i) adalah 881 mm. *Limit load* yang didapatkan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan ANSYS Mechanical APDL dan menggunakan solusi nonlinier Newton-Raphson. Didapatkan *limit load* dari desain separator menurut Bangma, Lazalde-Crabtree dan Spiral-Inlet adalah $1,726 P_d$, $1,28 P_d$, dan $1,087 P_d$. Pada metode Bangma *stress* maksimum arah axial berada pada jarak $1,18\sqrt{rt}$ dari inlet dan *stress* mulai mereda pada jarak $5,89\sqrt{rt}$ dari inlet. Dapat disimpulkan bahwa metode Bangma menghasilkan *stress* yang lebih tinggi pada *shell*, tapi mempunyai *limit load* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan dua metode desain lainnya.

Kata kunci: *Bangma, Lazalde-Crabtree, Spiral Inlet, Limit Load, Stress Distribution, Maximum Stress*

ABSTRACT

Study of Limit Load and Stress Distribution in the Design of Two Phase Separator for Geothermal Power Plant

Bagas Prabowo^a, Asnawi Lubis^{b,1}, Jamiatul Akmal^b, Harmen^b, Zuhendri Hasymi^b

^aGraduate Student at the Department of Mechanical Engineering, University of Lampung

^bDepartment of Mechanical Engineering, Universitas Lampung

Two phase separator is a very important component in a geothermal power plant system. The main function of the separator is to remove liquid from the geothermal fluid mixture and ensure that the steam entering the turbine to turn the turbine is dry and clean. This paper presents the results of finite element study to determine the limit load (internal pressure) and to assess the stress distribution of vertical cyclone separator tank designed with three design methods commonly used in geothermal power plant system: Bangma, Lazalde-Crabtree, and Spiral Inlet methods. These design methods mainly differ in the opening structure of the main shell for the two-phase inlet to obtain the effect of centrifugal force for the separation of water and steam in the separator. Opening in the shell causes a reduction in the ability of the shell to withstand internal pressure load. The separator was designed for capacity of 375.27 ton/h, it is a typical two-phase separator used in PGE unit 3 and 4 Ulu Belu, Lampung, Indonesia. Design pressure (pD) and temperatur were 970 kPa and 200⁰C respectively. With these design conditions, the diameter of inlet pipe to main shell of the separator (D_t) is 881 mm. The limit load was obtained via finite element method using ANSYS nonlinear capability with the Newton-Raphson option turned on. It was found that limit load of the separator designed using the Bangma, Lazalde-Crabtree, and Spiral Inlet is 1.726 pD , 1.28 pD , 1.087 pD respectively. For Bangma method, the maksimum stress along the axial direction measured from the inlet is located at $1.18 \sqrt{rt}$ and decay at $5.89\sqrt{rt}$. It was concluded that the Bangma's method results in higher stress in shell, but have higher limit load compared to the other two methods.

Keywords: *Bangma, Lazalde-Crabtree, Spiral-Inlet, Limit Load, Stress Distribution, Maximum Stress*

**STUDI LIMIT TEKANAN DAN ANALISIS *STRESS* PADA TANKI
SEPARATOR DUA FASA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PANAS BUMI**

Oleh

BAGAS PRABOWO

(Tesis)

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
Magister Teknik**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung .**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Tesis : STUDI LIMIT TEKANAN DAN ANALISIS STRESS PADA TANKI SEPARATOR DUA FASA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI

Nama Mahasiswa : **Bagas Prabowo**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2125021006

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197004121997031006



Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP. 196908011999031002



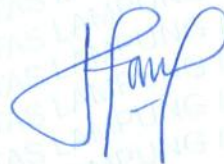
MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 197103311999031003



Dr. Harmen, S.T., M.T.
NIP. 196906202000031001

MENGESAHKAN

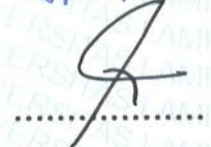
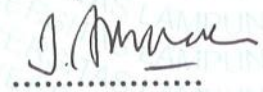
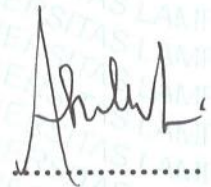
1. Tim Penguji

Ketua : Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D.

Anggota Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

Penguji Utama I : Dr. Harmen, S.T., M.T.

Penguji Utama II : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.,
NIP 19750928 200112 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. H. Murhadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 08 Agustus 2023

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiat, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang undangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Yang Membuat



Bagas Prabowo
NPM 2125021006

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Surakarta pada tanggal 24 Maret 1997, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dengan orang tua Bapak Surip dan Ibu Esti Redjeki Rusmiani. Jenjang Pendidikan yang ditempuh oleh penulis untuk Jenjang Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Kleco 1 Surakarta pada tahun 2003 hingga lulus pada tahun 2009, kemudian melanjutkan ke SMPN 9 Surakarta pada tahun 2009 hingga 2011. Kemudian pada Tahun 2011 Penulis memutuskan untuk melanjutkan Pendidikan ke SMAN 3 Surakarta pada Tahun 2011 dan lulus pada Tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program S1 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret dan lulus pada Oktober 2018. Setelah lulus dari Universitas Sebelas Maret penulis melanjutkan untuk bekerja di Sekolah Sugar Group di Unit SMA pada tahun 2020 hingga 2022. Kemudian pada tahun 2022 hingga saat ini berada di unit Politeknik Tunas Garuda.

Tahun 2021 Sekolah Sugar Group memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan Pascasarjana (S2) di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung (UNILA). Selama belajar di UNILA, penulis melakukan penelitian Tesis dibawah bimbingan Asnawi Lubis, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis,

Bagas Prabowo

Ucapan Terima kasih

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan anugrah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Studi Limit Tekanan dan Analisis *Stress* pada Tanki Separator Dua Fasa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi” guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan laporan ini, penulis banyak dibantu oleh berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia yang telah diberikan,
2. Orang tua, Istri dan keluarga yang telah mendukung penuh selama penulisan Tesis,
3. Dr. Asnawi Lubis, selaku dosen pembimbing I sekaligus dosen pembimbing akademik,
4. Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II,
5. Dr. Harmen, S.T., M.T., selaku dosen Penguji I sekaligus Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Lampung,
6. Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T., selaku dosen Penguji II
7. Pimpinan Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
8. Teman-teman S-2 angkatan 2021 yang selalu membantu, mendukung dan memberikan semangat untuk berjuang,
9. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna, dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga Tesis ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis
Bagas Prabowo

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan Kasih Karunia-Nya penulis dapat menyajikan tulisan Tesis yang berjudul: “Studi Limit Tekanan dan Analisis Stress pada Tanki Separator Dua Fasa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi”.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Bandar Lampung, 08 Agustus 2023

Penulis,

Bagas Prabowo

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	7

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum	9
2.2 Separator	9
2.2.1 Separator Horizontal.....	10
2.2.2 Separator Vertikal.....	12
2.2.3 Komponen Separator	14
2.3 <i>Internal Pressure</i> pada Separator.....	35
2.3.1 Tegangan Aksial	36
2.3.2 Tegangan Hoop.....	37

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 <i>Geometri Modelling</i>	40
3.3 Properties Material dan Ketebalan Separator.....	46
3.4 Pemilihan <i>Element Type</i> dan <i>Meshing</i>	47
3.5 Kondisi Batas	48
3.6 <i>Loading</i>	49
3.7 <i>Solution Nonlinier</i>	50
3.8 <i>Review Hasil</i>	51

3.8.1 <i>General Postprocessor (POST1)</i>	51
3.8.2 <i>Time-History Postprocessor</i>	51
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Tinjauan Umum	52
4.2 <i>Limit Pressure</i>	52
4.3 <i>Distribusi Stress</i>	63
4.3.1 Tegangan Maksimum	63
4.3.2 Distribusi Stress dari Inlet Arah Aksial	65
4.3.3 Distribusi Stress dari Inlet ke Arah Hoop.....	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>U-Bend Separator</i>	3
Gambar 2.1 Skema Penyaluran Uap Panas Bumi Menuju Separator.....	10
Gambar 2.2 Separator Horizontal.....	11
Gambar 2.3 Desain Separator One-Inlet Horizontal	10
Gambar 2.4 Separator Vertikal <i>Bottom Outlet Cyclone (BOC)</i>	13
Gambar 2.5 <i>Cylindrical Shell</i>	14
Gambar 2.6 <i>Spherical Shell</i>	15
Gambar 2.7 Nilai Faktor B	19
Gambar 2.8 Nilai Faktor A	20
Gambar 2.9 Tipe - Tipe <i>Head</i>	22
Gambar 2.10 <i>Opening</i> pada Bejan Tekan	26
Gambar 2.11 Contoh <i>Opening</i> pada <i>Bejana Tekan</i>	27
Gambar 2.12 <i>Skirt Support</i>	30
Gambar 2.13 <i>Base Ring</i>	35
Gambar 2.14 Arah Tegangan Aksial	36
Gambar 2.15 Keseimbangan Gaya Arah Vertikal	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Dimensi Separator Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	44
Gambar 3.3 Desain Separator Bangma	45
Gambar 3.4 Desain Separator Lazalde-Crabtree	45
Gambar 3.5 Desain Separator Spiral Inlet.....	46

Gambar 3.6 Geometri SHELL281.....	47
Gambar 3.7 Hasil <i>Meshing</i> pada Desain Separator Metode Spiral Inlet.....	48
Gambar 3.8 <i>Boundary Condition</i>	49
Gambar 3.9 Pembebanan dengan Beban <i>Internal Pressure</i>	50
Gambar 3.10 Metode Newton-Raphson.....	50
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Beban dengan Radial Displacement Desain Separator Dua Fasa Menurut Bangma.....	55
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Beban dengan <i>Radial Displacement</i> Desain Separator Dua Fasa Menurut Lazalde-Crabtree	58
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban dengan <i>Radial Displacement</i> Desain Spiral-Inlet Separator Dua Fasa.....	61
Gambar 4.4 Perbandingan Hubungan Beban dengan <i>Radial Displacement</i> Desain Separator Dua Fasa	62
Gambar 4.5 <i>Stress Contour</i> Desain Bangma	64
Gambar 4.6 <i>Stress Contour</i> Desain Lazalde-Crabtree	64
Gambar 4.7 <i>Stress Contour</i> Desain Spiral Inlet	65
Gambar 4.8 Grafik Distribusi Tegangan Arah Axial pada Desain Bangma	66
Gambar 4.9 Grafik Distribusi Tegangan Arah Aksial pada Desain Lazalde-Crabtree.....	68
Gambar 4.10 Grafik Distribusi Tegangan Arah Aksial pada Desain Spiral Inlet	69
Gambar 4.11 Perbandingan Distribusi Tegangan Arah Aksial	71
Gambar 4.12 Grafik <i>Stress Distribution</i> Arah Hoop pada Desain Bangma	72
Gambar 4.13 Distribusi Tegangan Arah Hoop pada Desain Lazalde-Crabtree ...	74

Gambar 4.14 Grafik Distribusi Tegangan Arah Hoop pada Desain Separator Spiral Inlet	75
Gambar 4.15 Perbandingan Distribusi Tegangan Arah Hoop	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perhitungan <i>Reinforcement</i> pada <i>Opening</i>	28
Tabel 2.2 Tabel Nilai Konstanta sebagai Fungsi dari K	31
Tabel 2.3 <i>Properties of Concrete Four Mixture</i>	33
Tabel 2.4 <i>Bending Moment</i>	33
Tabel 3.1 Tabel Dimensi Separator	40
Tabel 3.2 <i>Cyclone Separator Design Guidelines</i>	41
Tabel 3.3 Dimensi Separator Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	43
Tabel 4.1 Hasil Analisis Tegangan dari Desain Separator Dua Fasa Menurut Bangma.....	53
Tabel 4.2 Hasil Analisis Tegangan dari Desain Separator Dua Fasa Menurut Lazalde-Crabtree	56
Tabel 4.3 Hasil Analisis Tegangan dari Desain Spiral-Inlet Separator Dua Fasa	59
Tabel 4.4 Tegangan Maksimum pada Desain Separator Dua Fasa	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Shells yang berbentuk silinder banyak digunakan pada industri keteknikan, sebagai contoh bejana bertekanan, perpipaan pada industri proses, separator pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, dan lain-lain. Struktur *shell* sering digunakan sebagai bejana tekan karena mudah dibentuk dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap tekanan internal maupun eksternal dan mempunyai ketahanan terhadap panas. Menurut Ifayefunmi et al. (2018) bahwa silinder berdinding tipis sangat rentan akan ketidaksempurnaan hal tersebut dikarenakan mengalami berbagai macam pembebanan. Ketidakpastian struktur berdinding tipis didunia nyata tidak dapat dihindari sehingga sangat berpengaruh dalam pengaruh kapasitas daya dukung strukturnya. Salah satu contoh aplikasi dinding tipis adalah separator silinder dua fasa. Sehingga separator sangat rentan untuk mengalami kegagalan struktur.

Separator uap air pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*). Separator uap air merupakan komponen yang sangat vital pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi. Separator tersebut merupakan separator dua fasa, yang mana fungsi dari separator tersebut adalah memisahkan fasa gas dan fasa fluida. Fasa gas dari hasil pemisahan tersebut merupakan uap kering yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga

menghasilkan energi listrik. *Brine* hasil pemisahan dari panas bumi tersebut mengandung klorida dan carbon. Pemisahan tersebut untuk menjaga kerusakan komponen yang disebabkan oleh air dan agar komponen optimal dalam jangka waktu dan menghasilkan energi listrik yang efisien (Zarrouk dan Moon, 2014).

Proses pemisahan fluida *geothermal* pada separator dua fasa adalah dengan tekanan yang tergantung pada pressure drop antara kepala sumur dan separator. Jika stasiun separator dekat dengan sumur panas, pressure drop dapat diabaikan, sebaliknya pressure drop harus diperhitungkan jika stasiun separator jauh dari sumur geothermal namun jika panas bumi dari beberapa sumur menuju satu stasiun separator yang sama, maka sumur dengan tekanan terendah merupakan maksimum pressure pemisahan (separation pressure). (Minoli, et.al., 2017).

Menurut Foong (2005) metode awal pemisahan antara fasa gas dengan fasa cair adalah dengan cara melewatkan campuran tersebut ke dalam tabung besar, yang disebut *knock out drum*. Kemudian memberikan tekanan pada fluida tersebut sehingga fasa gas dengan densitas yang kurang akan naik dan fasa cair yang memiliki densitas yang lebih padat akan turun ke dasar drum. Metode yang lain untuk memisahkan fasa gas dengan fasa cair adalah dengan menggunakan metode 180° *U-Bend Separator* yang bekerja dengan menggunakan prinsip gaya sentrifugal. Separator tersebut memiliki desain yang sederhana dan mampu memisahkan sekitar 80% fasa cair. Untuk

meningkatkan fasa gas yang dihasilkan *U-Bend* dikombinasikan dengan *cyclone separator*.



Gambar 1.1 *U-Bend Separator*

Saat ini desain yang sering digunakan pada separator adalah *cyclone separator*. *Cyclone separator* menjadi desain yang paling sering ditemukan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) di seluruh dunia. Proses pemisahannya menggunakan gaya sentrifugal pada campuran uap air yang dibawa masuk ke dalam separator melalui inlet berbentuk *tangensial* maupun inlet berbentuk *spiral*. Saat uap tersebut berputar, fluida dengan *density* yang lebih besar akan turun kebawah dan kemudian dibuang sedangkan fluida dengan *density* yang lebih rendah akan naik keatas dan masuk ke dalam proses selanjutnya. Dalam sistem *cyclone separator* berdasarkan bentuknya ada dua jenis desain yaitu Separator Horizontal dan Separator Vertikal.

Separator horizontal memanfaatkan gravitasi untuk memisahkan air dan uap. Air dengan densitas yang lebih tinggi akan jatuh pada bottom separator dan akan dipisahkan dari aliran uap. Separator horizontal biasanya digunakan untuk fluida dengan rasio *gas-liquid* yang tinggi, sedangkan separator vertikal digunakan untuk fluida dengan rasio *gas-liquid* yang rendah (Arnold and Steward, 2008). Secara umum, untuk laju aliran yang sama, separator horizontal memerlukan diameter yang lebih besar daripada separator vertical (Zarrouk and Purnanto, 2014). Pada sisi lain, separator horizontal lebih sederhana dalam konstruksi dan operasinya dibandingkan dengan separator vertikal. Separator dengan desain vertikal digunakan untuk memisahkan steam dari brine pada ladang panas bumi dengan rasio *gas-liquid* yang rendah (liquid dominated). Separator vertikal memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memisahkan uap dan air. Fasa gas dengan densitas yang lebih rendah daripada fasa cair, cenderung untuk mengalir pada middle area dari vessel, sementara liquid mengalir pada dinding separator menyebabkan liquid kehilangan momentumnya dan jatuh pada bottom separator akibat gaya gravitasi.

Sebagian besar ladang geothermal adalah liquid-dominated (Rivas-Cruz dkk, 2015). Pemisahan uap dan liquid berlangsung pada separator vertikal dengan memanfaatkan gaya sentrifugal (cyclone separator). Kualitas kemurnian (persen uap) yang dipisahkan tergantung kepada kecepatan aliran input campuran dua fasa uap dan air yang masuk ke separator dan juga pada konstruksi separator. Ada tiga metode perancangan separator yang biasa

digunakan untuk menentukan dimensi dan geometri separator vertikal, yaitu metode Lazalde-Crabtree (1984), metode Bangma (1961), dan metode Spiral-inlet (Munggang, 2012). Pada desain konstruksi dari ketiga metode tersebut secara garis besar berbeda pada konstruksi inlet dua fasa pada separator. Ketiga metode tersebut merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi pemisahan secara maksimum. Namun pada ketiga metode tersebut tidak melihat ataupun mempertimbangan *stress* yang terjadi pada desain separator tersebut. Sehingga pada penelitian ini membahas tentang *stress* yang terjadi pada desain separator yang berdasarkan pada metode Lazalde-Crabtree (1984), metode Bangma (1961), dan metode Spiral-inlet (Munggang, 2012). *Stress* yang dimaksud adalah *limit load* akibat *internal pressure* yang mampu ditahan oleh ketiga metode desain tersebut dan *maksimum stress* yang terjadi pada separator dengan menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian ini juga dibandingkan *limit load* akibat *internal pressure* dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan Spiral Inlet Design. Dengan mengetahui *limit load* dan *maksimum stress* yang bekerja pada separator dengan ketiga metode desain tersebut diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan metode desain yang akan direalisasikan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini menganalisis dan membandingkan *limit internal pressure* dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) dengan menggunakan metode elemen hingga. Maka pada penelitian ini dirumuskan:

- a. Berapa *limit load* akibat *internal pressure* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan Spiral Inlet Design?
- b. Bagaimana distribusi stress dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan Spiral Inlet Design?
- c. Bagaimana perbandingan *limit internal stress* dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984) dan Spiral Inlet Design?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar penelitian lebih terarah dan tidak meluas, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Separator yang dirancang merupakan separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*)
- b. Perancangan desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi mengacu pada ketentuan yang berlaku yaitu *Asme section VIII division 1*.
- c. Analisis *stress* berada pada *junction* pertemuan antara *opening* dan *shell*.

- d. Beban yang bekerja pada separator dua fasa adalah beban hidrostatik.
- e. Analisa tegangan pada bejana tekan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software ANSYS MECHANICAL APDL 2021* dan untuk pemodelan menggunakan *SOLIDWORKS 2016*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. Menentukan *limit load* akibat *internal pressure* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan Spiral Inlet Design.
- b. Menentukan distribusi stress dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan Spiral Inlet Design.
- c. Menentukan metode desain yang paling baik berdasarkan dari perbandingan *limit load* akibat *internal pressure* dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984) dan Spiral Inlet Design.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Secara akademis dapat memberikan wawasan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam pembuatan desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) yang tahan terhadap beban akibat tekanan internal.

- b. Dapat mengetahui perbandingan *limit load* akibat *internal pressure* dan *maksimum stress* pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984) dan Spiral Inlet Design. Sehingga perbandingan tersebut dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan desain separator.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

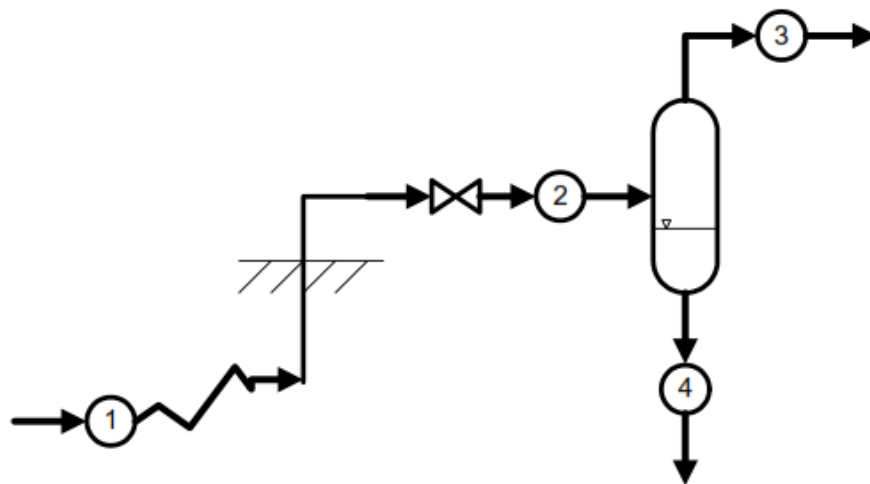
2.1 Tinjauan Umum

Separator adalah komponen utama pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*). Fungsi utama dari separator adalah memisahkan fase uap yang keluar dari panas bumi, dimana uap tersebut dipisahkan menjadi *brine* dan uap kering melalui proses dengan memanfaatkan gaya sentrifugal atau yang biasa disebut dengan *cyclone* separator. Pemisahan air dan uap kering tersebut dikarenakan air yang dibawa dari panas bumi mengandung garam yang dapat menyebabkan *scaling* dan *corrosion* pada turbin pembangkit listrik tenaga panas bumi (Rivas-Cruz et.al., 2015).

2.2 Separator

Separator merupakan salah satu jenis bejana tekan. Bejana tekan sendiri merupakan suatu bejana yang digunakan dalam penyimpanan fluida bertekanan. Fluida yang disimpan pada bejana tekan dapat mengalami perubahan kondisi saat berada di dalam bejana tersebut. Perubahan kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan tekanan di dalam bejana dan di luar bejana. Akibat dari perbedaan kondisi tersebut mengakibatkan bejana tekan sangat rentan terhadap kegagalan struktur yang berupa kebocoran pada bejana tekan. Kebocoran tersebut dapat mengakibatkan ledakan akibat fluida yang ada di dalam bejana tekan tersebut. (Moss, 2004).

Separator berguna untuk memastikan bahwa uap yang masuk ke turbin untuk memutar turbin benar benar uap kering. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan model sederhana system penyaluran dari sumber pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) yang berupa sumur *geothermal* menuju separator untuk dipisahkan antara material uap dan *brine*. Pada poin nomor (1) uap panas bumi disalurkan dari dalam bumi menuju ke inlet separator, yang kemudian pada poin nomor (2) dimasukkan kedalam separator dimana didalam separator tersebut terjadi pemisahan fasa menjadi dua, yaitu fasa uap dan fasa cair. Dengan fasa uap yang kemudian diteruskan untuk digunakan sebagai penggerak turbin pembangkit listrik seperti pada poin nomor (3) sedangkan fasa cair seperti pada nomor (4) akan dikumpulkan kemudian dapat digunakan kembali untuk proses *geothermal* berkelanjutan.



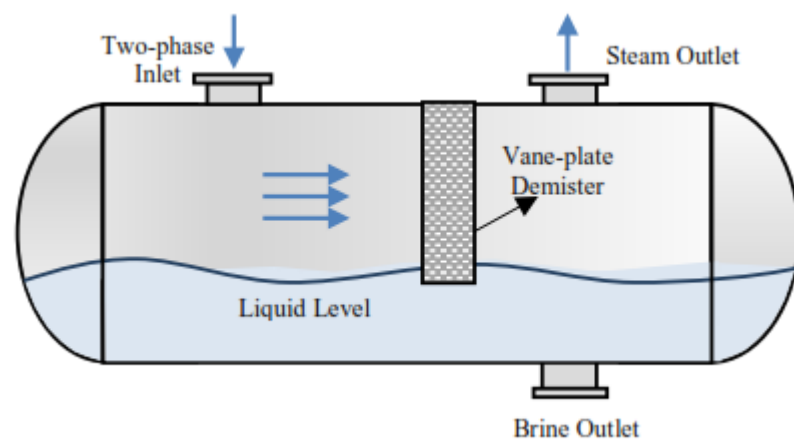
Gambar 2.1 Skema Penyaluran Uap Panas Bumi Menuju Separator

2.2.1 Separator Horizontal

Menurut Arnold dan Steward (2008) separator horizontal biasa digunakan pada separator dengan fluida yang memiliki rasio gas dan cairan yang tinggi sedangkan

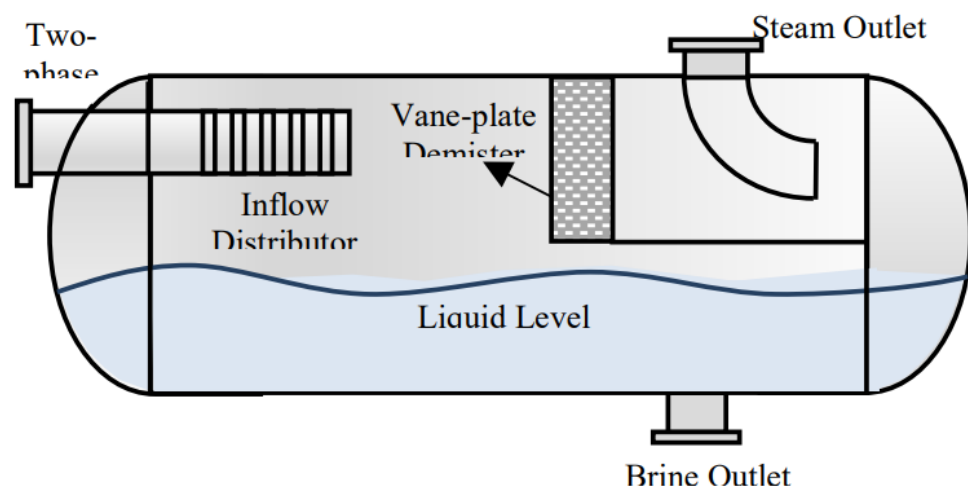
fluida yang memiliki rasio gas dan cairan yang rendah digunakan separator vertikal. Penggunaan separator horizontal di dunia pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (geothermal) sangat sedikit. Islandia, Jepang dan Russia adalah negara yang sering menggunakan separator horizontal ketika akan membuat desain sebuah pembangkit listrik tenaga panas bumi (Zarrouk dan Purnanto, 2014).

Separator horizontal sering dilengkapi dengan alat pemisah kabut pada outlet uapnya. Hal tersebut dikarenakan untuk meningkatkan proses pemisahan bahan yang masih tercampur. Pada umumnya untuk laju aliran yang sama separator horizontal membutuhkan dimensi tabung yang lebih besar (Zarrouk dan Purnanto, 2014). Menurut Perry dkk. (1997) pemanfaatan gravitasi dalam proses pemisahan antara fasa gas dan fasa cair pada separator horizontal tidak efisien, namun disisi lain separator horizontal lebih sederhana untuk proses pembangunan dan operasionalnya jika dibandingkan dengan separator vertical.



Gambar 2.2 Separator Horizontal

Seiring dengan kemajuan teknologi, desain separator horizontal semakin berkembang untuk mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi. Bahkan ada beberapa desain separator horizontal yang mengklaim jika desain separator horizontal lebih efisien daripada separator vertical. Perkembangan desain separator horizontal dapat dilihat dari desain inlet yang terkini dengan menggunakan *inflow distributor* yang berfungsi sebagai pemecah aliran dua fasa dan dapat memisahkan uap dan air secara efektif sebelum *outlet chamber* akan melewati *vane-plate demister* terlebih dahulu (Josefsson, 2016).



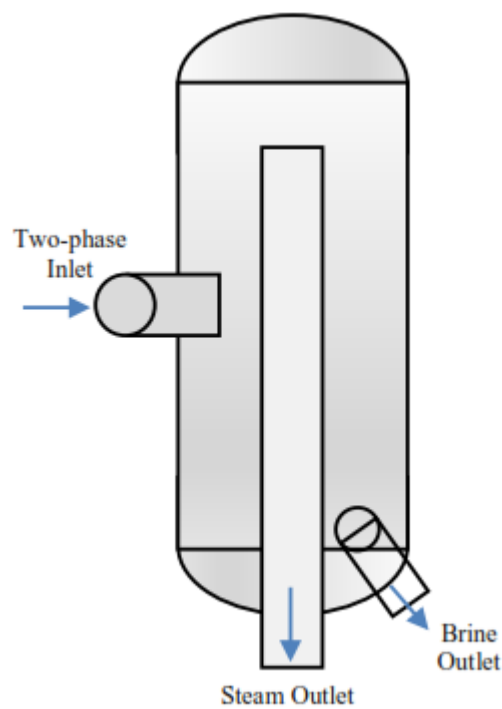
Gambar 2.3 Desain Separator One-Inlet Horizontal

2.2.2 Separator Vertikal

Separator dengan desain vertikal digunakan untuk memisahkan steam dari brine pada ladang panas bumi dengan liquid dominated. Sebuah separator Bottom Outlet Cyclone (BOC) memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memisahkan uap dan air. Steam dengan densitas yang lebih rendah daripada air, cenderung untuk mengalir pada middle area dari vessel, semestara liquid mengalir pada dinding

separator menyebabkan liquid kehilangan momentumnya dan jatuh pada bottom separator dengan gaya gravitasi.

Menurut Lazalde-Crabtree (1984) separator vertikal *Bottom Outlet Cyclone* (BOC) mempunyai efisiensi mencapai 99,9% saat disimulasikan oleh Munggang et al. (2013) dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Separator vertikal *Bottom Outlet Cyclone* (BOC) mempunyai keuntungan tingkat efisiensi yang tinggi dan mempunyai ukuran yang lebih kecil (Zarrouk and Purnanto., 2015).



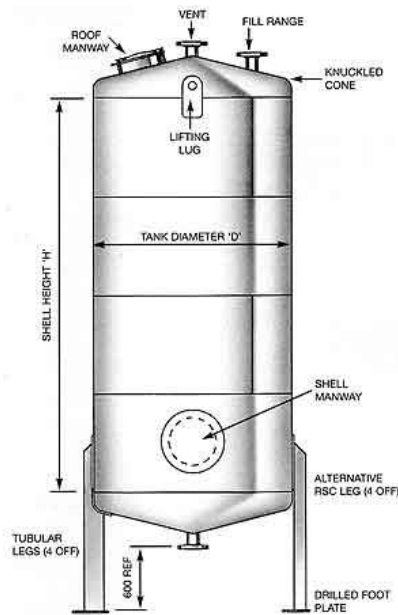
Gambar 2.4 Separator Vertikal *Bottom Outlet Cyclone* (BOC)

2.2.3 Komponen Separator

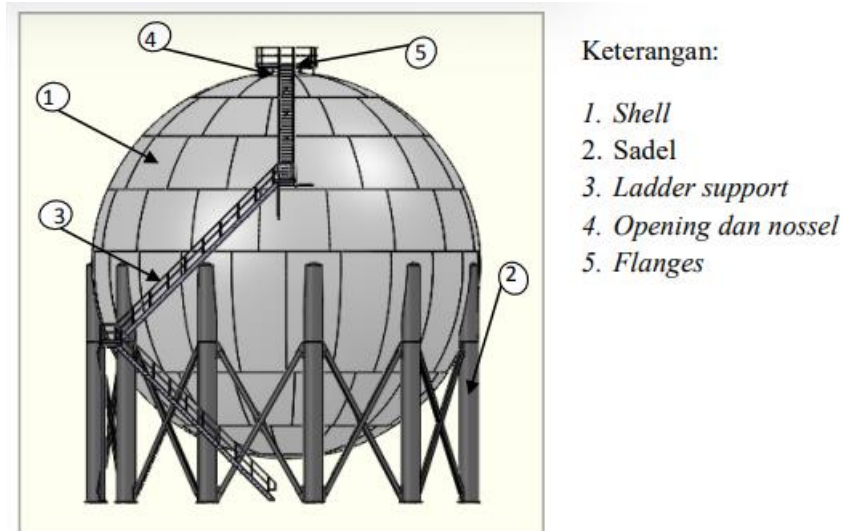
Komponen utama separator adalah sebagai berikut:

1. *Shell*

Shell merupakan komponen yang paling utama pada separator. Karena di dalam *shell* akan diisi oleh fluida bertekanan, hal tersebut menjadikan *shell* sebagai komponen yang penting dari separator. *Shell* mempunyai berbagai macam bentuk, yang paling sering digunakan adalah *shell* berbentuk silinder, kerucut maupun bola.



Gambar 2.5 *Cylindrical Shell*



Gambar 2.6 *Spherical Shell*

Menurut Eugene F. Megyesy (2001) ketebalan dari *shell* dirancang berdasarkan tekanan internal dan tekanan eksternal. Sehingga dalam menentukan ketebalan *shell* agar aman harus disesuaikan dengan desain tekanan internal dan tekanan eksternal. Berikut adalah perhitungan ketebalan *shell* dengan menggunakan kondisi desain tekanan internal dan tekanan eksternal:

a. Ketebalan *Shell* berdasarkan Desain Tekanan Internal

Menurut ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 Paragraf UG-27 (2019) penentuan ketebalan *shell* dengan desain tekanan internal dapat ditentukan dengan persamaan.

Untuk sambungan memanjang tegangan yang terjadi adalah tegangan arah melingkar atau *circumferential stress*. Berdasarkan diameter dalam.

$$t = \frac{P \times D_i}{2(S \times E) - 1,2 P} \dots\dots\dots(2-1)$$

berdasarkan diameter luar

$$t = \frac{P \times D_o}{2(S \times E) + 0,8 P} \dots\dots\dots(2-2)$$

dimana:

t = Ketebalan *Shell* (in)

P = Desain tekanan internal (psi)

D_i = Diameter dalam *Shell* (in)

D_o = Diameter luar *Shell* (in)

S = Tegangan ijin maksimum (psi)

E = Efisiensi sambungan las

Untuk sambungan melingkar atau *circumferential joint* digunakan untuk menahan tegangan dengan arah longitudinal. Persamaan untuk menentukan ketebalan dengan sambungan melingkar diberikan pada Persamaan (2-3).

$$t = \frac{P \times R}{2(S \times E) + 0,4 P} \dots\dots\dots(2-3)$$

dimana:

t = Ketebalan *Shell* (in)

P = Desain tekanan internal (psi)

R = Jari-jari dalam *Shell* (in)

S = Tegangan ijin maksimum (psi)

E = Efisiensi sambungan las

b. Ketebalan *Shell* berdasarkan Desain Tekanan Eksternal

Penentuan ketebalan *shell* dengan desain tekanan eksternal berdasarkan pada perbandingan diameter luar dengan ketebalan minimum rencana. Berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 Paragraf UG-28 (2019) adapun yang disyaratkan adalah jika hasil dari perbandingan diameter luar dengan ketebalan minimum rencana kurang dari 10 dan hasil dari perbandingan diameter luar dengan ketebalan minimum rencana lebih dari 10.

Berikut persamaan untuk hasil perbandingan diameter luar dengan ketebalan minimum rencana lebih dari 10.

Jika $D_0/t > 10$ maka,

$$P_a = \frac{4B}{3(D_0 / t)} \dots\dots\dots(2-4)$$

dimana:

P_a = Tekanan ijin maksimum (psi)

B = Nilai dari Faktor B (Gambar 2.7)

D_0 = Diameter luar (psi)

t = Ketebalan minimum rencana (psi)

atau dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$P_a = \frac{2 AE}{3(D_0 / t)} \dots\dots\dots(2-5)$$

dimana:

P_a = Tekanan ijin maksimum (psi)

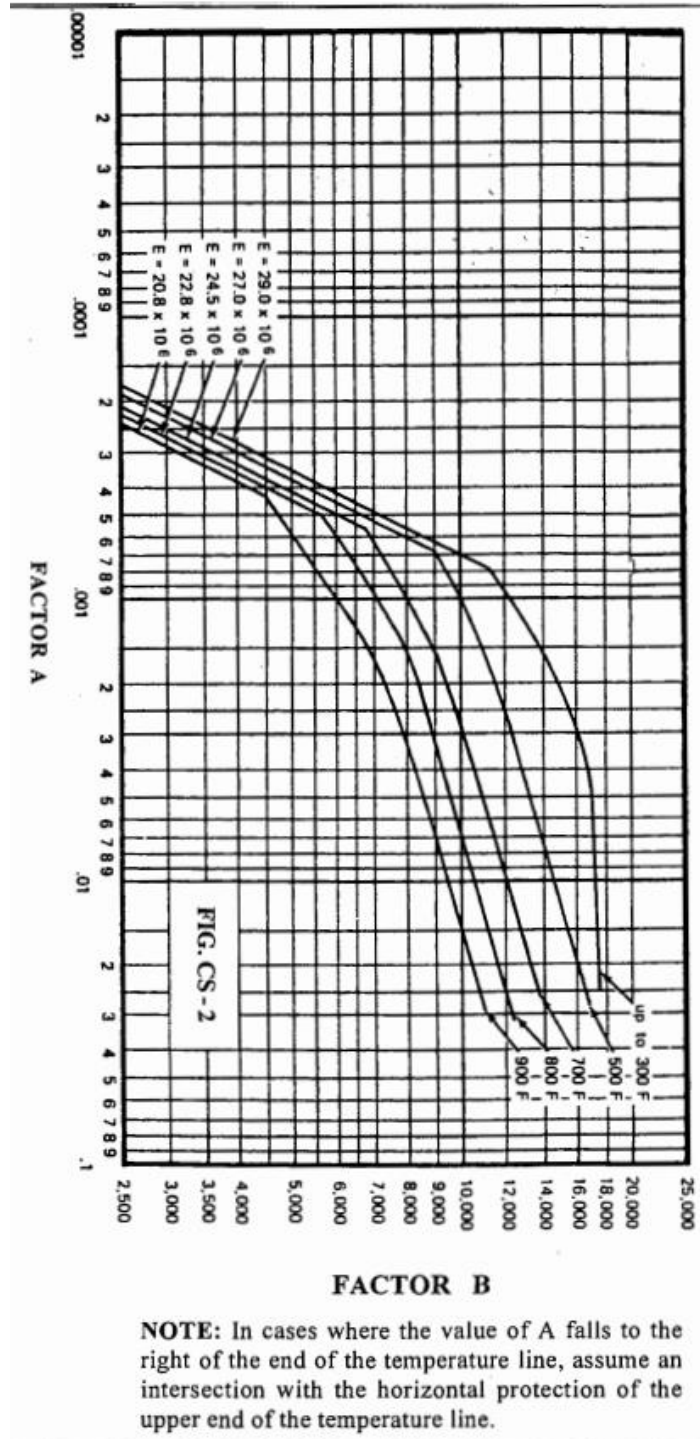
A = Nilai dari Faktor A (Gambar 2.8)

D_o = Diameter luar (in)

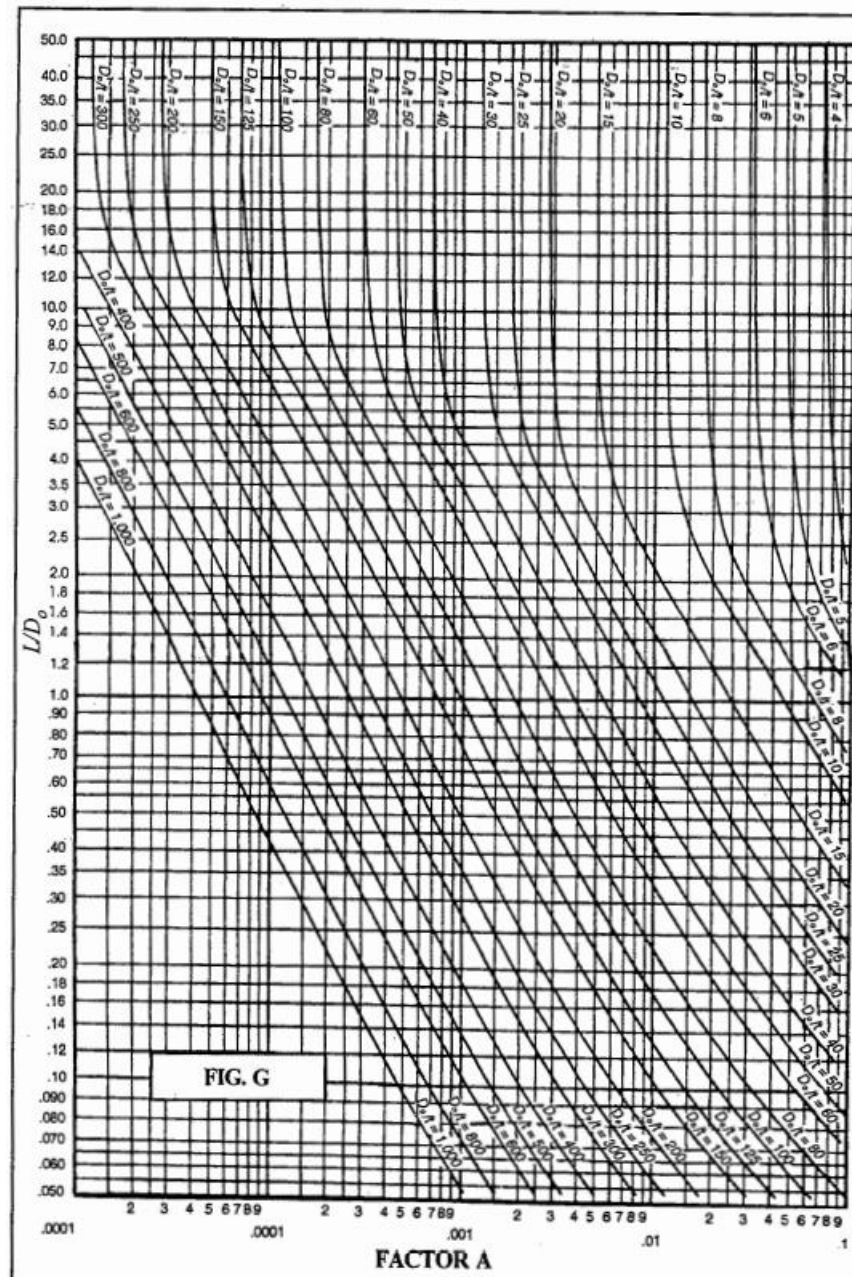
t = Ketebalan minimum rencana (in)

E = Modulus Elastisitas (psi)

Bila saat didapatkan tekanan maksimum lebih kecil daripada desain tekanan eksternal, maka harus dilakukan pengulangan perhitungan dengan mempertebal ketebalan minimum rencana.



Gambar 2.7 Nilai Faktor B



Gambar 2.8 Nilai Faktor A

Jika nilai dari perbandingan diameter dalam dengan ketebalan minimum rencana kurang dari 10 ($D_0/t < 10$) digunakan perhitungan berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII division 1 pada paragraf UG-28(c)(2). Berikut adalah persamaan dengan kondisi $D_0/t > 10$.

Nilai factor A dan B ditentukan dengan menggunakan **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8**. Jika nilai perbandingan diameter dalam dan ketebalan minimum rencana (D_0/t) kurang dari 4, maka menghitung nilai faktor A sebagai berikut.

$$A = \frac{1,1}{(D_0/t)^2} \dots\dots\dots(2-6)$$

Jika didapatkan nilai A lebih besar dari 0,1 maka nilai yang digunakan adalah 0,1. Kemudian untuk menentukan tekanan ijin maksimum dapat menggunakan dua persamaan berikut.

$$P_{a1} = \left[\frac{2,167}{(D_0/t)} - 0,833 \right] B \dots\dots\dots(2-7)$$

dan

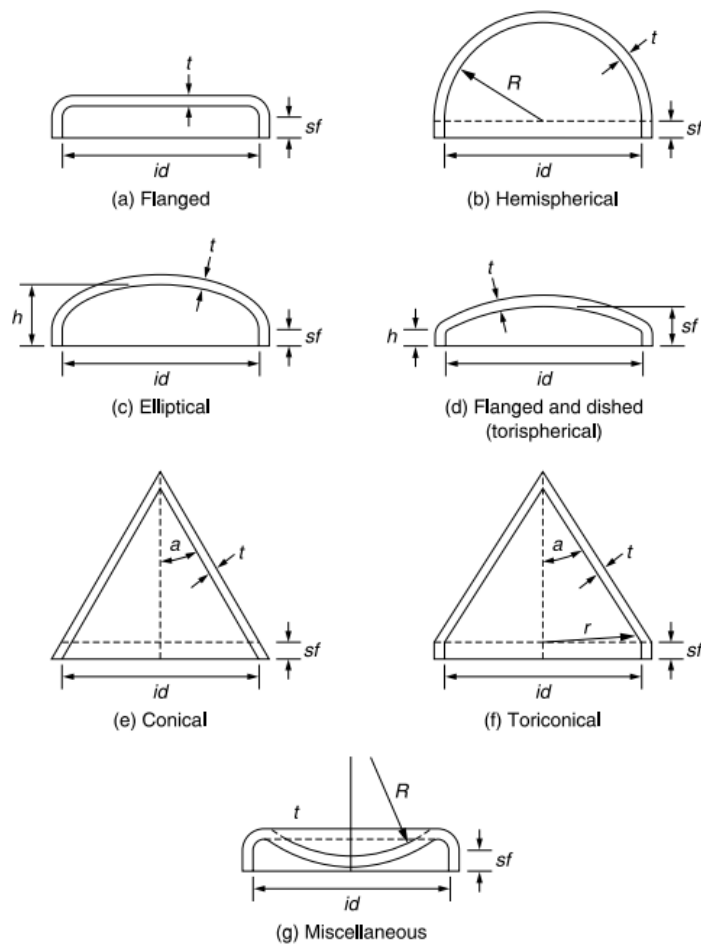
$$P_{a2} = \frac{2S}{(D_0/t)} \left[1 - \frac{1}{D_0/t} \right] \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan nilai S adalah 0,9 kali dari *yield strength* material pada desain temperatur. Hasil dari P_{a1} dan P_{a2} kemudian diambil nilai paling kecil untuk dijadikan sebagai tekanan ijin maksimum eksternal P_a , yang kemudian P_a dibandingkan dengan tekanan desain eksternal. Apabila didapati nilai tekanan ijin maksimum eksternal (P_a) lebih kecil dari tekanan desain eksternal (P) maka nilai t harus diperbesar hingga nilai tekanan ijin maksimum eksternal (P_a) lebih besar atau sama dengan tekanan desain eksternal (P).

2. *Head*

Head merupakan bagian dari separator yang menutup bagian bawah dan atas untuk silinder vertikal. Pada umumnya material yang digunakan untuk *head* sama dengan material yang digunakan untuk *shell* yang disatukan dengan cara pengelasan.

Bentuk dari *head* menyesuaikan bentuk dari *shell* yang disesuaikan dengan kriteria desain temperature dan tekanan. Adapun beberapa contoh bentuk dari *head* adalah *Flanged*, *Ellipsoidal*, *Torispherical*, *Hemispherical*, *Conical*, dan *Toriconical*.



Gambar 2.9 Tipe - Tipe *Head*

Menurut ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1 (2019) penentuan ketebalan pada *head* separator berdasarkan pada pembebanan tekanan internal dan pembebanan tekanan eksternal. Setiap tipe *head* memiliki persamaan yang berbeda dalam menentukan ketebalan minimum.

Berikut persamaan untuk menentukan ketebalan berdasarkan tekanan internal.

a. *Spherical* dan *Hemispherical Head*

$$t = \frac{P R}{2 S E + 0,8 P} \dots\dots\dots(2-9)$$

b. *Ellipsoidal Head*

$$t = \frac{P D}{2 SE + 1,8P} \dots\dots\dots(2-10)$$

c. *Cone dan Conical Head*

$$t = \frac{P D}{2 \cos \alpha (SE + 0,4P)} \dots\dots\dots(2-11)$$

d. *ASME Flanged dan Dished Head*

Jika perbandingan L/r adalah $16 \frac{2}{3}$, maka

$$t = \frac{0,885 PL}{SE + 0,8P} \dots\dots\dots(2-12)$$

Untuk nilai L/r nilainya kurang dari $16 \frac{2}{3}$, maka

$$t = \frac{PLM}{2SE + P(M - 0,2)} \dots\dots\dots(2-13)$$

e. *Circular Flat Head*

$$t = d \sqrt{0,13 P/SE} \dots\dots\dots(2-14)$$

Atau

$$t = dx \sqrt{CP/SE} \dots\dots\dots(2-15)$$

dimana:

P = Tekanan ijin maksimum atau tekanan desain (psi)

S = Nilai kekuatan material (psi)

E = Efisiensi sambungan

t = Ketebalan minimum rencana (psi)

R = Jari-jari luar (psi)

D = Diameter luar (psi)

α = Sudut apex (*degrees*)

L = Jari-jari dish luar (psi)

Adapun persamaan untuk menentukan ketebalan pada *head* separator berdasarkan pada pembebanan tekanan eksternal adalah sebagai berikut.

a. *Spherical dan Hemispherical Head*

Berikut langkah untuk ketebalan *head* berbentuk *Sphere* dan *Hemispherical Head*.

- Mengasumsikan nilai ketebalan (t) dan menghitung nilai faktor A dengan menggunakan persamaan

$$A = \frac{0,125}{(R_0/t)} \dots \dots \dots (2-15)$$

- Menggunakan nilai A pada persamaan (2-14) untuk mencari nilai B dengan cara memasukkan nilai A pada Gambar 2.4.
- Menggunakan nilai B yang didapat dari grafik yang ada pada Gambar 2.4 untuk disubstitusikan pada persamaan berikut.

$$P_a = \frac{B}{(R_0 / t)} \dots \dots \dots (2-16)$$

b. *Ellipsoidal Head*

Langkah menentukan ketebalan pada *ellipsoidal head* sama dengan penentuan ketebalan pada *sphere* dan *hemispherical head* namun dengan nilai $R_0 = 0,9 D_0$

c. *ASME Flanged and Dished Head*

Menentukan ketebalan *head* pada jenis *ASME flanged and dished head* sama dengan menentukan ketebalan pada jenis *ellipsoidal head* dengan nilai $R_0 \text{maksimum} = D_0$

d. *Cone and Conical Section*

Saat sudut α sama dengan atau lebih kecil dari 60° dan $D_l / t_e \geq 10$ maka persamaan tekanan maksimum ijin adalah sebagai berikut.

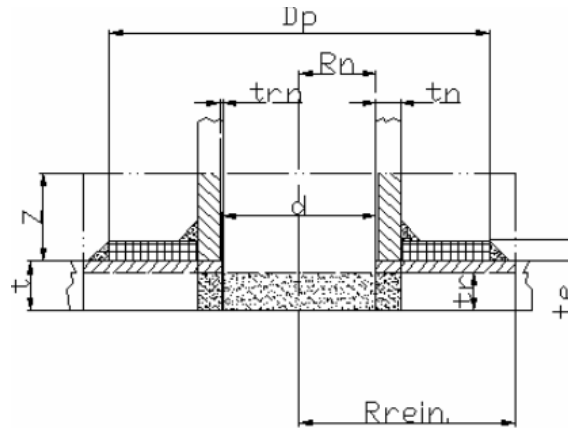
$$P_a = \frac{4B}{3(D_l / t_e)} \dots\dots\dots(2-17)$$

Mengasumsikan ketebalan untuk kemudian mendapatkan nilai B dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.4

3. *Opening/Nozzle*

Opening pada separator adalah komponen berbentuk silinder yang berbentuk lubang yang menembus pada daerah *shell* atau *head*. Tujuan dibuat *opening* pada separator adalah sebagai berikut.

- Untuk tempat orang masuk (*manway*) sebagai sarana mempermudah perawatan
- Untuk menguras dan membersihkan separator
- *Nozzle* untuk merekatkan pipa yang berfungsi untuk mengalirkan fluida di dalam dan di luar separator
- Sebagai tempat untuk menyambung instrument tambahan seperti *level gauges* dan *pressure gauges*

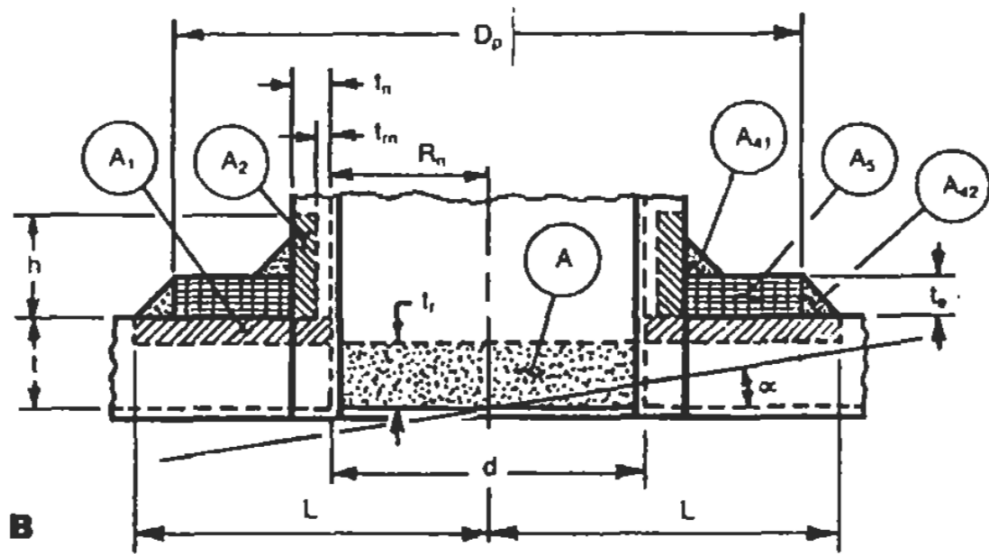


Gambar 2.10 *Opening* pada Bejan Tekan

Pada beberapa *Opening* mungkin tidak membutuhkan *nozzles*. Dalam beberapa kasus *nozzle* dan pipa ditambahkan pada *opening* sedangkan pada kasus yang lain hanya *opening* hanya ada plat penutup *manway* atau plat penutup *handhole* dilas atau ditambahkan baut pada area disekitar *opening*. *Nozzle* atau *opening* juga mendapatkan beban dari tekanan internal dan tekanan eksternal. Selain itu juga mendapatkan beban yang berasal dari komponen perpipaan tambahan dan perpipaan yang ada pada separator.

Desain *opening* dan *nozzle* berdasarkan pada dua pertimbangan. Pertimbangan pertama adalah kekuatan membrane primer pada separator harus berada pada limit yang ditentukan oleh tegangan Tarik yang diijinkan. Pertimbangan yang kedua adalah tegangan maksimum harus dijaga agar tetap berada pada batas yang masih dapat diterima untuk memastikan separator masih berada pada batas *fatigue*.

Akibat dari lubang yang disebabkan oleh pembuatan *opening* pada separator sehingga menimbulkan berkurangnya kekuatan pada *shell* ataupun *head*. Berkurangnya kekuatan bergantung pada besarnya diameter untuk membuat *opening* maupun *nozzle*, jumlah *opening* maupun *nozzle*, jarak dari masing-masing *opening* maupun *nozzle* (Chattopadhyay, 2005).



Gambar 2.11 Contoh *Opening* pada *Bejana Tekan*

Menentukan suatu *opening* atau *nozzle* memerlukan *reinforcement* tambahan atau tidak berdasarkan pada luas penampang pada *shell* atau *head* yang hilang akibat adanya *opening* atau *nozzle*. Sebagai contoh pada Gambar 2.11, pada dasarnya luas penampang yang hilang (A) harus digantikan dengan total dari ketebalan penambahan *opening* maupun *nozzle*. Adapun persamaan dalam menentukan *opening* maupun *nozzle* diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perhitungan *Reinforcement* pada *Opening*

Ketebalan	<i>Area Required</i>	<i>Area Available</i>
$t_r = \frac{PR}{(SE - (0,6P))}$	$A = d \times t_r$	$A_1 = d \times (t - t_r)$ $A_1 = (t - t_r)(t_n + t)2$
$t_{rn} = \frac{PR}{(SE - (0,6P))}$		$A_2 = (t_n - t_{rn})5t_n$
		$A_{21} = A_{42} = l^2 f_r$
		$A_3 = (D_p - d - t_n) t_e f_r$

Sumber: *Pressure Vessel Handbook* (Eugene,2001)

dimana:

- A = Luas yang dibutuhkan (in²)
- A_1 = Luas pada *shell* (in²)
- A_2 = Luas pada *nozzle* (in²)
- A_{21} = Luas pengelasan (in²)
- A_3 = Luas perkuatan pada plat (in²)
- A_{42} = Luas pengelasan (in²)
- d = diameter *nozzle* (in)
- t = Tebal *shell* yang digunakan (in)
- t_r = Tebal *shell* yang dibutuhkan (in)
- t_{rn} = Tebal *nozzle* yang dibutuhkan (in)
- l = Panjang pengelasan (in)
- f_r = Faktor reduksi kekuatan
- D_p = Diameter luar *reinforcement* plat (in)

4. *Support*

Support merupakan bagian dari bejana tekan yang berfungsi sebagai penahan agar bejana tekan tidak bergeser. *Support* didesain dengan mempertimbangkan beban sendiri bejana tekan, beban gempa, beban angin jika bejana tekan vertical dan sangat tinggi, beban akibat getaran.

Berikut beberapa contoh *support* pada bejana tekan.

a. *Saddle Support*

Penggunaan *saddle support* biasanya pada bejana tekan horizontal. *Saddle support* pada bejana tekan horizontal biasanya diletakkan pada dua tempat. Fungsi dari diletakkan pada dua tempat adalah menghindari terjadinya tegangan pada titik sangga *shell*. Dimensi dari penyangga bergantung pada ukuran dan kondisi desain dari bejana tekan.

b. *Leg Support*

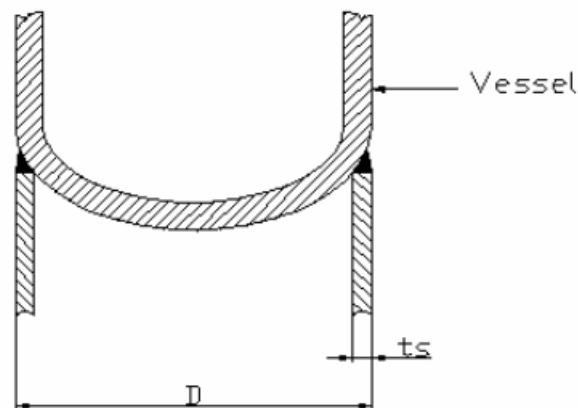
Leg support biasanya digunakan sebagai penopang pada bejana tekan vertical yang mempunyai dimensi yang kecil. Perbandingan dimensi yang digunakan adalah perbandingan antara Panjang *leg* dengan diameter separator, nilai dari perbandingan tersebut adalah 2:1. Kebutuhan *leg* juga bergantung pada ukuran separator dan beban yang diterimanya.

c. *Lug Support*

Lug support adalah penyangga yang langsung dilas pada *shell*. Penyangga jenis ini dapat digunakan pada bejana tekan vertical dengan dimensi dari yang kecil hingga medium (ukuran 1 – 10 ft) dengan perbandingan tinggi terhadap diameter dalam antara 2:1 hingga 5:1

d. *Skirt Support*

Tipe *skirt support* sering digunakan pada bejana tekan vertical berbentuk silindris maupun *spherical*. Pada bejana tekan silinder vertikal biasanya diletakkan lebih rendah daripada *shell*. Sedangkan pada bejana tekan vertical berbentuk *spherical* diletakkan didekat garis tengah bejana tekan tersebut.



Gambar 2.12 *Skirt Support*

Ketebalan *skirt support* bergantung pada beban yang bekerja pada bejana tekan, baik saat beroperasi maupun saat pengujian hidrostatis. Beban yang bekerja pada *skirt support* adalah berat bejana tekan dan momen akibat dari sambungan yang ada pada *shell* dan *skirt*. Berikut persamaan untuk menentukan ketebalan *skirt support*.

$$t = \frac{12 M_T}{R^2 \pi S E} + \frac{W}{\pi D S E} \dots\dots\dots(2-19)$$

dimana:

M_T = Momen pada sambungan *shell* dengan *skirt* (lb.ft)

W = Berat total bejana (lb)

R = Jari-jari luar lingkarang *skirt* (in)

D = Diameter luar *skirt* (in)

S = Tegangan ijin maksimum material *skirt* (psi)

E = Efisiensi sambungan las

5. *Anchor Bolts* dan *Base Ring*

Angkur dan baut berfungsi untuk menahan bejana tekan agar tetap pada pondasinya. Beban yang diterima oleh ankur dan baut berupa momen yang disebabkan oleh beban angin, beban gempa maupun getaran yang ditimbulkan oleh operasional bejana tekan. Menurut Megyessy (2001) luas total ankur dan baut yang dibutuhkan dirumuskan sebagai berikut.

$$A_b = 2\pi \frac{12 M - Wzd}{C_t S_a j d} \dots\dots\dots(2-20)$$

Keterangan :

A_b = Luas total *anchor bolt* (in²)

M = Momen total pada sambungan *skirt* (lb.ft)

W = Total berat bejana tekan pada posisi tegak (lb)

S_a = Tegangan ijin maksimum material *bolt* (psi)

d = diameter keliling *bolts* (in)

Tabel 2.2 Tabel Nilai Konstanta sebagai Fungsi dari K

k	C_c	C_t	j	z
0,00	0,000	3,142	0,750	0,500
,05	0,600	3,008	,760	,490
,10	0,852	2,887	,766	,480

,15	1,049	2,772	,771	,469
,20	1,218	2,661	,776	,459
,25	1,370	2,551	,779	,448
,30	1,510	2,442	,781	,438
,35	1,640	2,333	,783	,427
,40	1,765	2,224	,784	,416
,45	1,884	2,113	,785	,404
,50	2,000	2,000	,785	,393
,55	2,113	1,884	,785	,381
,60	2,224	1,765	,784	,369
,65	2,333	1,640	,783	,357
,70	2,442	1,510	,781	,344
,75	2,551	1,370	,779	,331
,80	2,661	1,218	,776	,316
,85	2,772	1,049	,771	,302
,90	2,887	0,852	,766	,286
,95	3,008	0,600	,760	,270
1,00	3,142	0,000	,750	,250

Sumber: *Pressure Vessel Handbook* (Megyesy,2001)

Tabel 2.3 *Properties of Concrete Four Mixture*

Kekuatan Ultimate 28 hari (psi)	2000	2500	3000	3750
Kuat Tekan yang diijinkan (f_c)(psi)	800	1000	1200	1500
<i>Safe Bearing Load</i> (f_b)(psi)	500	625	750	938
Factor n	15	12	10	8

Sumber: *Pressure Vessel Handbook* (Megyesy,2001)

Tabel 2.4 *Bending Moment*

l_1/b	M_x	M_y
0,000	0,000	$-0,500 f_c l_1^2$
0,333	$0,0078 f_c b^2$	$-0,428 f_c l_1^2$
0,500	$0,0293 f_c b^2$	$-0,319 f_c l_1^2$
0,667	$0,0558 f_c b^2$	$-0,227 f_c l_1^2$
1,000	$0,0972 f_c b^2$	$-0,119 f_c l_1^2$
1,500	$0,123 f_c b^2$	$-0,124 f_c b^2$
2,000	$0,131 f_c b^2$	$-0,125 f_c b^2$
3,000	$0,133 f_c b^2$	$-0,125 f_c b^2$
∞	$0,133 f_c b^2$	$-0,125 f_c b^2$

Sumber: *Pressure Vessel Handbook* (Megyesy,2001)

Variabel C_1 , z , C_c dan j ditentukan oleh Tabel 2.2, dengan nilai K ditentukan dengan persamaan berikut.

$$K = \frac{1}{1 + \frac{S_a}{n f_{cb}}} \dots\dots\dots(2-21)$$

Dimana,

f_{cb} = tegangan beton pada lingkaran *bolt* (psi)

n = perbandingan rasio modulus elastisitas beton dan baja

(Tabel 2.4)

Besarnya beban tarik pada *anchor bolts* didapatkand dari persamaan berikut.

$$F_t = \frac{M - Wzd}{jd} \dots\dots\dots(2-22)$$

Tegangan tarik pada *anchor bolt* dirumuskan sebagai berikut.

$$S_a = \frac{F_t}{t_s r C_t} \text{ dimana } t_s = \frac{A_b}{\pi d} \dots\dots\dots(2-$$

23)

Sedangkan persamaan beban tekan pada beton adalah sebagai berikut.

$$f_{cb} = \frac{F_c}{(l_4 + n t_s) r C_c} \dots\dots\dots(2-$$

24)

Dengan,

$$F_c = F_t + W$$

$$l_4 = l - t_s$$

Persamaan tegangan tarik pada baja dan tekan pada beton sebagai berikut.

$$S_a = n f_c \dots\dots\dots(2-25)$$

Sedangkan ketebalan *base ring* bisa ditentukan dari persamaan berikut.

$$t_B = l_1 \sqrt{\frac{3 f_c}{S}}, \text{ (tanpa gusset) } \dots\dots\dots(2-$$

26)

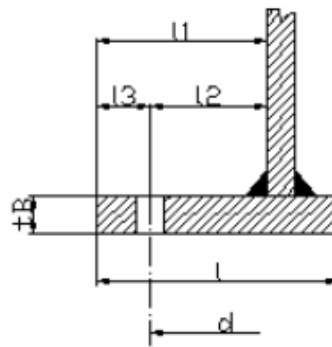
$$t_B = \sqrt{\frac{6 M_{max}}{S}} , \text{ (dengan gusset) } \dots\dots\dots(2-$$

27)

Dimana,

S = tegangan ijin maksimum material *base ring* (psi)

M_{max} = Tabel 2.4



Gambar 2.13 *Base Ring*

2.3 Internal Pressure pada Separator

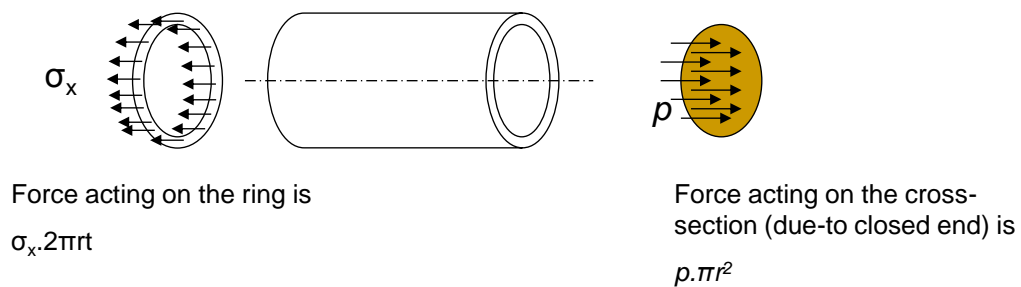
Gaya yang bekerja pada separator dan struktur separator disebut beban. Beban sangat perlu diperhitungkan dengan tepat karena akan sangat berpengaruh terhadap faktor keselamatan pada saat separator dalam kondisi operasi. Faktor keselamatan dapat ditentukan berdasarkan pengalaman masa lampau, kode desain, perhitungan dan percobaan. Beban utama yang diterima oleh bejana tekan antara lain beban akibat tekanan (tekanan internal dan tekanan eksternal), beban sendiri (beban mati), beban angin, beban akibat gempa, beban akibat temperature, beban akibat system perpipaan, beban akibat gaya kejut (*impact*) (Moss, 2004).

Beban yang diterima oleh *shell* silinder salah satunya adalah *internal pressure*. *Internal pressure* disebabkan oleh adanya desakan tekanan kearah luar pada separator yang merupakan salah satu contoh dari bejana tekan. Akibat dari *internal pressure* tersebut gaya dan tegangan akan terjadi pada arah *circumferential*. Pada separator maupun bejana tekan pasti mempunyai penutup atau yang biasa disebut *head* sehingga separator tersebut juga mempunyai beban aksial.

Tegangan yang bekerja pada separator dianggap seragam pada sepanjang ketebalan *shell* dan *head* karena *shell* dianggap sebagai struktur berdinding tipis. Dengan asumsi tersebut maka tegangan radial diabaikan dan dinding separator hanya mengalami tegangan dua sumbu (*bi-axial stress*) yaitu tegangan aksial (*longitudinal*) dan tegangan hoop (*circumferential stress*).

2.3.1 Tegangan Aksial

Menurut Timoshenko dan Gere (1961) tegangan aksial bekerja pada arah *cross section* pada separator yang berdinding silinder tipis. Arah tegangan aksial ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.14 Arah Tegangan Aksial

Berdasarkan *cross section* seperti pada gambar diatas, gaya yang dibentuk oleh tekanan dalam adalah

$$P\pi r^2 , \dots\dots\dots(2-28)$$

Gaya yang terbentuk oleh tegangan yang membujur σ_x adalah

$$\sigma_x(2\pi r t) , \dots\dots\dots(2-29)$$

Dengan menyamakan persamaan (2-25) dengan (2-26) maka akan didapatkan tegangan dengan arah σ_x

$$P\pi r^2 = \sigma_x(2\pi r t) , \dots\dots\dots(2-30)$$

$$\sigma_x = \frac{P\pi r^2}{(2\pi r t)} \dots\dots\dots(2-31)$$

Separator merupakan salah satu struktur berdinding tipis jadi besarnya tegangan aksial yang bekerja adalah

$$\sigma_x = \frac{Pr}{(2t)} \dots\dots\dots(2-32)$$

Keterangan :

σ_x : Tegangan Aksial (MPa)

P : Beban Aksial (N)

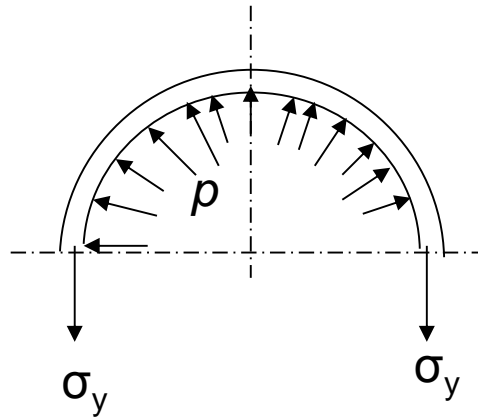
R : jari-jari dalam (m)

T : Tebal dinding (m)

2.3.2 Tegangan Hoop

Internal pressure yang bekerja ke-arah luar secara radial harus dalam keseimbangan dengan tegangan circumferential, σ_y , seperti pada Gambar 2.16.

Panjang silinder l dan busur dengan sudut kecil $d\theta$. Komponen radial gaya pada elemen adalah $p \times l \times rd\theta$; sehingga komponen vertical adalah $p \times l \times rd\theta \sin \theta$.



Gambar 2.15 Keseimbangan Gaya Arah Vertikal

Dengan demikian total gaya vertical akibat internal pressure adalah sebagai berikut.

$$\int_0^\pi Prl \sin \theta \, d\theta \dots\dots\dots(2-33)$$

$$Prl \int_0^\pi \sin \theta \, d\theta \dots\dots\dots(2-34)$$

$$Prl[-\cos \theta]_0^\pi \dots\dots\dots(2-35)$$

$$Prl(1 + 1) = 2Prl \dots\dots\dots(2-$$

36)

Dengan keseimbangan gaya arah vertical maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$2Prl = 2\sigma_y tl \dots\dots\dots(2-37)$$

Jadi persamaan dibawah ini adalah persamaan tegangan *Hoop Stress*.

$$\sigma_y = \frac{Pr}{t} \dots\dots\dots(2-38)$$

Keterangan :

σ_y : *Hoop Stress* (MPa)

P : Gaya tekan akibat *Internal Pressure* (N)

r : Diameter dalam Separator (m)

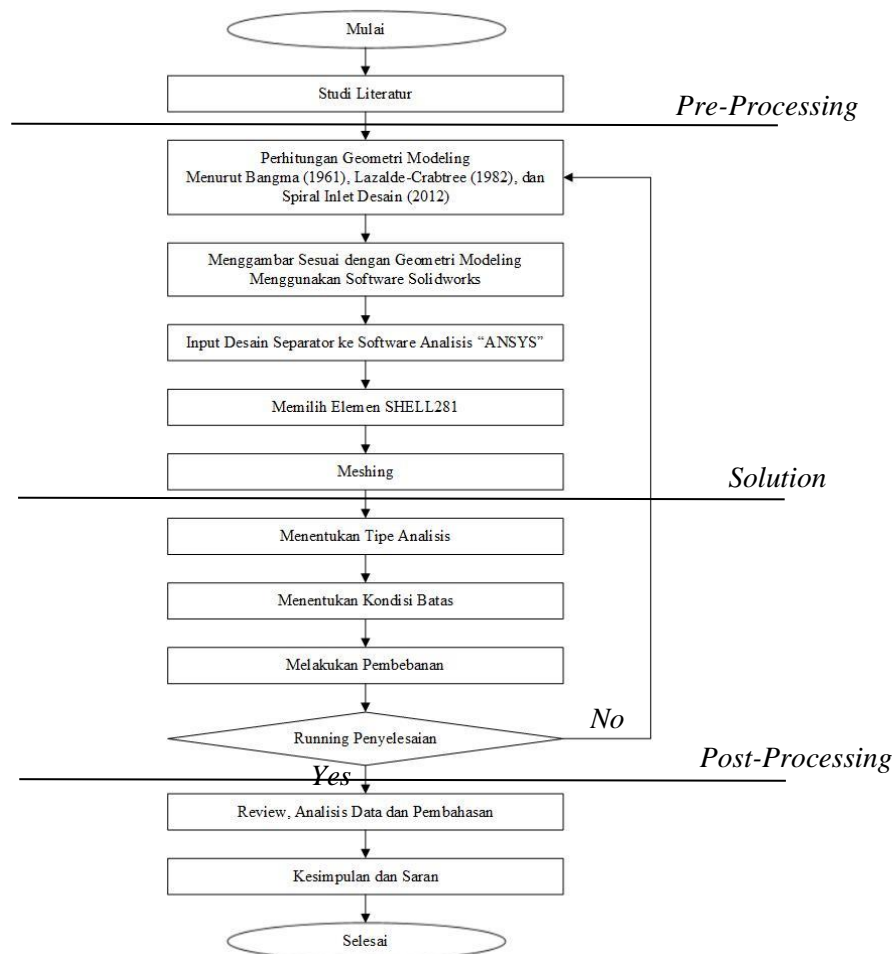
t : Tebal dinding separator (m)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

Pada penelitian ini proses simulasi menggunakan aplikasi computer yang Bernama ANSYS Mechanical APDL 2016, dimana di dalamnya terdapat analisis permodelan sesuatu benda dengan menggunakan metode analisis elemen hingga. Ada tiga tahapan dalam analisis menggunakan metode elemen hingga yaitu *Pre-Processing*, *Solution*, dan *Post-Processor*. Adapun alur tahapan tersebut ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Geometri Modelling

Geometri dari separator dua fasa pada pembangkit listrik tenaga panas bumi ditentukan berdasarkan metode desain menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984), dan *Spiral Inlet Desain* menurut Munggang (2012). Ketebalan *shell* dan *head* ditentukan berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code section VIII divisi 1 (2019).

Pada tahap ini hal yang dilakukan adalah menentukan geometri dari separator. Geometri separator dimodelkan dengan tipe separator *Bottom Outlet Cyclone* (BOC) dengan dua fasa. Dimensi separator ditentukan dengan menggunakan pendekatan desain dengan metode Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1984) dan *Spiral Inlet Desain* menurut Munggang (2012) seperti pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Tabel Dimensi Separator

Parameter	Bangma Design	Lazalde-Crabtree Design	Spiral-inlet design
D	3 D _t	3.3 D _t	2.95 D _t
D _c	0.8 D _t	1 D _t	1 D _t
D _b	1 D _t	1 D _t	0.7 D _t
α	3.25 D _t	0.15 D _t	0.28 D _t
β	3 D _t	3.5 D _t	3.2 D _t
Z	3 D _t	5.5 D _t	5.8 D _t
L _T	7 D _t	6.475 D _t	6.8 D _t
L _B	4.5 D _t	4.975 D _t	4.9 D _t

Sumber : Munggang (2012)

Menentukan dimensi separator dua fasa dipengaruhi oleh dua parameter utama yaitu tekanan pemisahan (*Separation Pressure*) dan laju aliran massa dalam separator. Pada Tabel 3.2 merupakan rekomendasi desain kecepatan aliran uap pada inlet separator dua fasa (DiPippo, 2008).

Tabel 3.2 *Cyclone Separator Design Guidelines*

Paramater kecepatan	Kecepatan
Kecepatan Uap Maksimum pada pipa inlet 2-fasa	45 m/s
Kisaran kecepatan uap yang disarankan pada pipa inlet 2-fasa	25 – 40 m/s
Kecepatan maksimum naiknya uap annular didalam cyclone	4.5 m/s
Kisaran kecepatan naiknya uap annular yang disarankan didalam cyclone	2.5 – 4.0 m/s

Diameter pipa inlet (D_t) pada separator dua fasa pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) merupakan parameter tunggal dalam menentukan dimensi bagian yang lain dari separator. Diameter pipa inlet (D_t) pada separator ditentukan dari luas penampang pipa inlet separator dua fasa. Luas penampang ditentukan dari besarnya laju aliran volume dari uap yang dihasilkan oleh sumber panas bumi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A = \frac{Q_{vs}}{v_t} \dots\dots\dots(3-1)$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots(3-2)$$

Desain kapasitas separator dua fasa pada penelitian ini berdasarkan pada data dari PGE Ulu Belu unit 3 dan 4 yang ada di Lampung dengan kapasitas uap maximum

adalah 375,270 ton/h. Separator didesain untuk mampu menahan tekanan sebesar 0,97 MPa (140 psi g) pada temperature 195°C (383°F). Dalam buku *Thermodynamics Ninth Edition* (Cengel, 2019) untuk tekanan 0,97 MPa dan temperature 195°C didapatkan massa jenis uap pada Tabel Superheated Water dengan nilai 6,840 kg/m³.

Dari data yang telah didapatkan maka laju aliran volume uap pada pipa inlet separator dua fasa adalah sebagai berikut.

$$Q_{vs} = \frac{375.270 \text{ kg/jam}}{6,840 \text{ kg/m}^3} = 54.864,04 \text{ m}^3/\text{jam} = 15,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan menggunakan ketentuan desain kecepatan aliran pada pipa inlet separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) dari Tabel 3.2 maka ditentukan laju aliran uap pada inlet pipa separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) adalah 25 m/s. Berdasarkan pada laju aliran uap yang telah ditentukan maka perhitungan luas penampang pipa inlet pada separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) dari persamaan (3-1).

$$A = \frac{15,24 \text{ m}^3/\text{s}}{25 \text{ m/s}} = 0,6096 \text{ m}^2$$

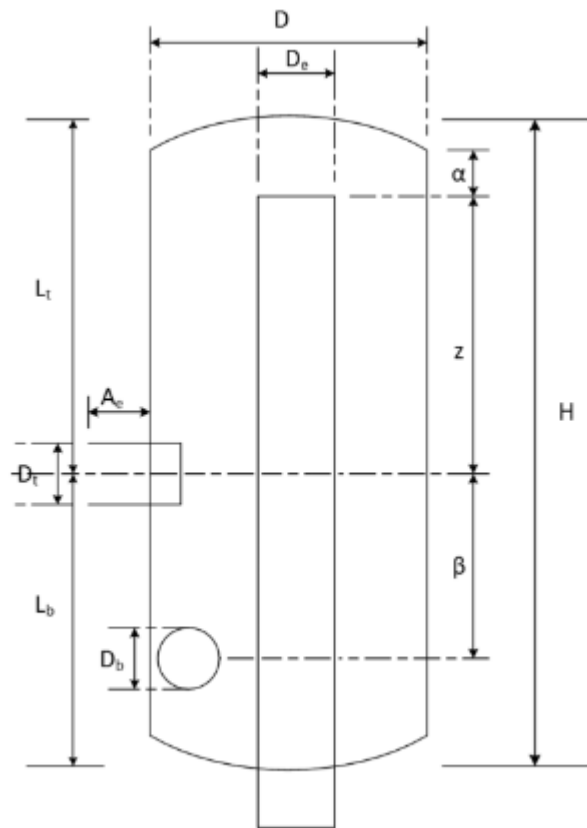
Berdasarkan luas penampang pipa inlet pada separator pembangkit listrik panas bumi (*geothermal*), diameter dari pipa inlet (D_t) dapat ditentukan dengan persamaan (3-2).

$$D_t = \sqrt{\frac{4(0,6096 \text{ m}^2)}{\pi}} = 0,881 \text{ m} = 881 \text{ mm}$$

Dari nilai diameter pipa inlet (D_t) yang telah didapatkan, maka keseluruhan dimensi dari separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) menurut Bangma (1961), Lazalde-Crabtree (1982) dan *Spiral Inlet Design* menurut Munggang (2012) dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

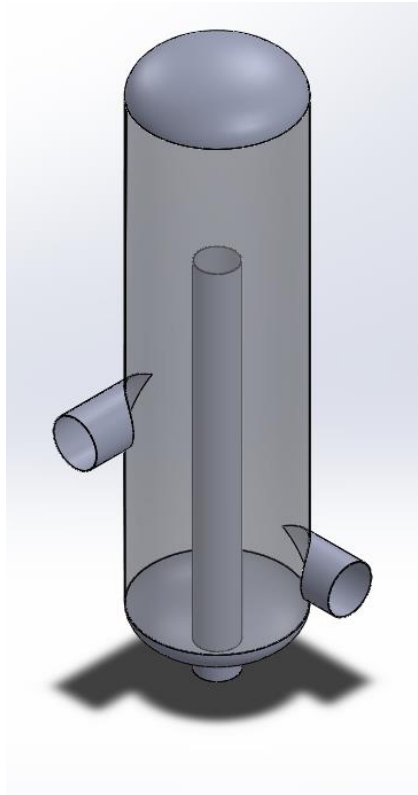
Tabel 3.3 Dimensi Separator Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Parameter	Bangma Design (mm)		Lazalde-Crabtree Design (mm)		Spiral Inlet Design (mm)	
D	$3 D_t$	2643,01	$3,3 D_t$	2907,31	$2,95 D_t$	2598,96
D_c	$0,8 D_t$	704,80	$1 D_t$	881,00	$1 D_t$	881,00
D_b	$1 D_t$	881,00	$1 D_t$	881,00	$0,7 D_t$	616,70
α	$3,25 D_t$	2863,26	$0,15 D_t$	132,15	$0,28 D_t$	246,68
β	$3 D_t$	2643,01	$3,5 D_t$	3083,51	$3,2 D_t$	2819,21
Z	$3 D_t$	2643,01	$5,5 D_t$	4845,52	$5,8 D_t$	5109,82
L_T	$7 D_t$	6167,03	$6,475 D_t$	5704,50	$6,8 D_t$	5990,82
L_B	$4,5 D_t$	3964,52	$4,975 D_t$	4382,99	$4,9 D_t$	4316,92

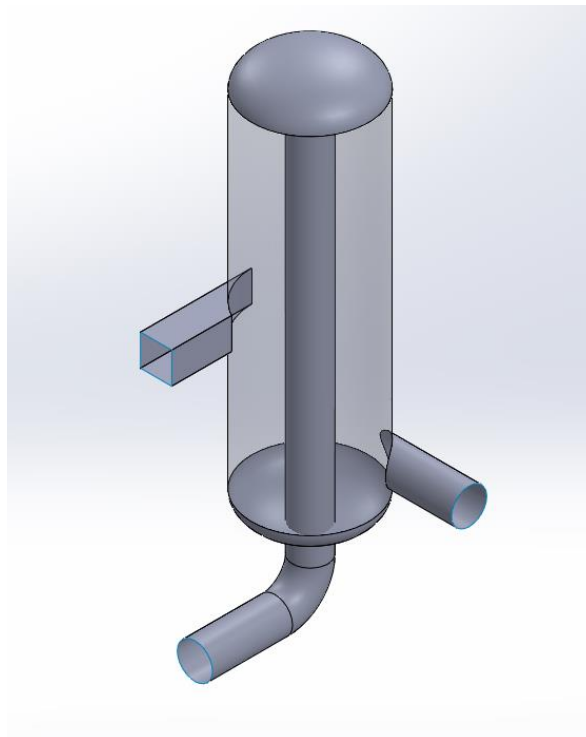


Gambar 3.2 Dimensi Separator pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

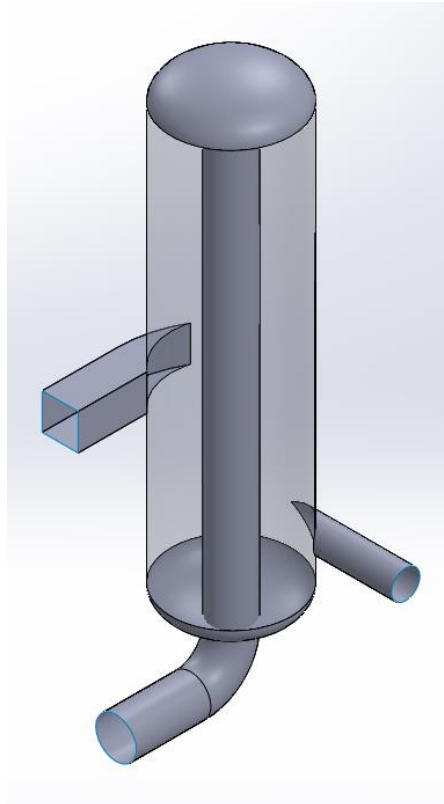
Geometri separator dari ketiga metode desain ditampilkan pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5



Gambar 3.3 Desain Separator Bangma



Gambar 3.4 Desain Separator Lazalde-Crabtree



Gambar 3.5 Desain Separator Spiral Inlet

3.3 Properties Material dan Ketebalan Separator

Material yang digunakan pada desain separator pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah SA-106 Gr.B dengan desain (*allowable*) *stress* 14400 psi dan Modulus Elastisitas 207.000 MPa dengan *poison ratio* 3. Tebal dinding separator pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*) dengan tekanan internal 1,355 MPa dan diameter $3,3D_t$ (menggunakan metode perancangan Lazalde-Crabtree) ditentukan berdasarkan pada ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII divisi 1 (paragraph UG.27) dengan menggunakan persamaan (2-2) didapatkan nilai ketebalan sebagai berikut.

$$t = \frac{P \times D_o}{2(S \times E) + 0,8 P}$$

$$t = \frac{140,6869 \times 114,4611}{2 \times (14.400) + 0,8 \times (140,6869)}$$

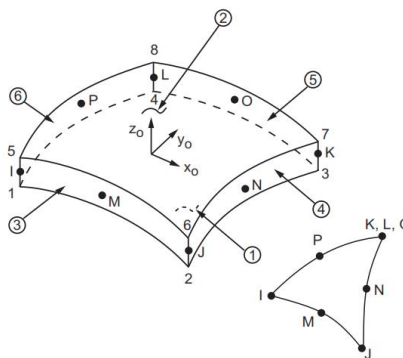
$$t = 0,7768 \text{ in} = 19,7313 \text{ mm}$$

Corrosion allowance (CA) diberikan 1/16 in, maka didapatkan nilai ketebalan dinding separator dengan pembulatan fraksi Inchi terdekat adalah 7/8 in (22 mm).

3.4 Pemilihan *Element Type* dan *Meshing*

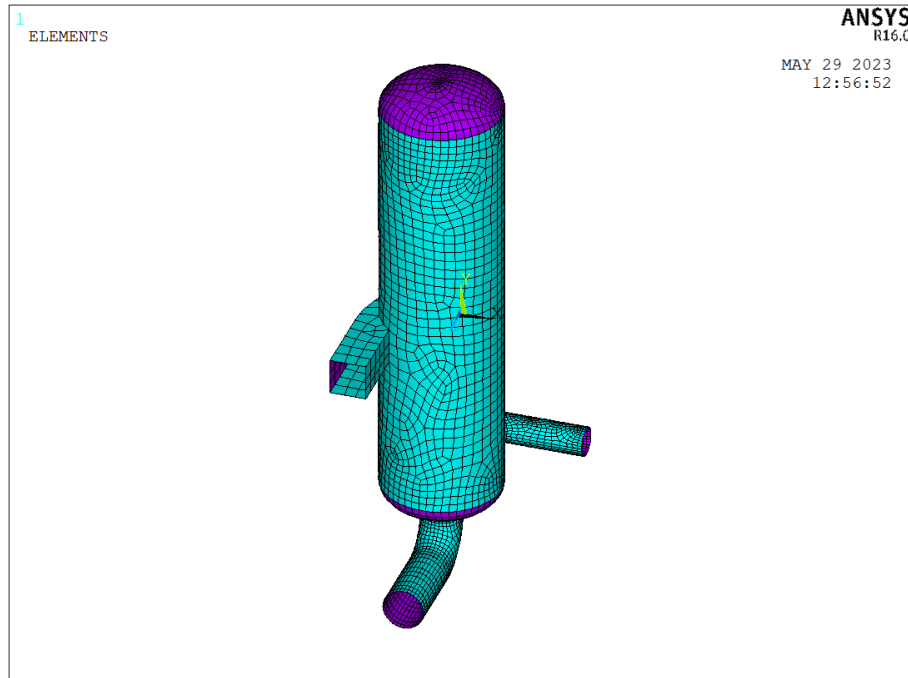
Pada tahap ini dilakukan pemilihan tipe elemen yang kemudian akan digunakan untuk *meshing*. *Meshing* merupakan membagi struktur menjadi bagian bagian yang lebih kecil yang disesuaikan dengan geometri tipe elemennya.

Tipe elemen yang digunakan adalah SHELL281. SHELL 281 merupakan elemen yang mempunyai 8 node dengan 6 derajat kebebasan (6 DOF) pada setiap node, yaitu translasi pada arah sumbu x, y, dan z, serta rotasi terhadap sumbu x, y, dan z. SHELL281 digunakan karena sesuai untuk menganalisis struktur berdinding tipis, selain itu elemen tersebut juga cocok untuk penyelesaian linier maupun nonlinier.



Gambar 3.6 Geometri SHELL281 (ANSYS *Element References*)

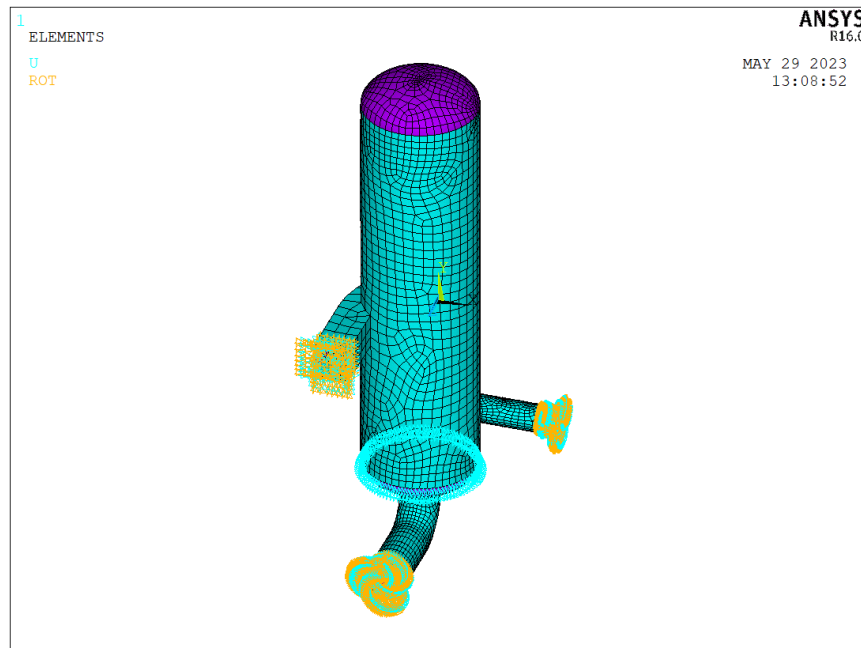
Typical finite elemen hasil meshing pada desain separator ditampilkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hasil *Meshing* pada Desain Separator Metode Spiral Inlet

3.5 Kondisi Batas

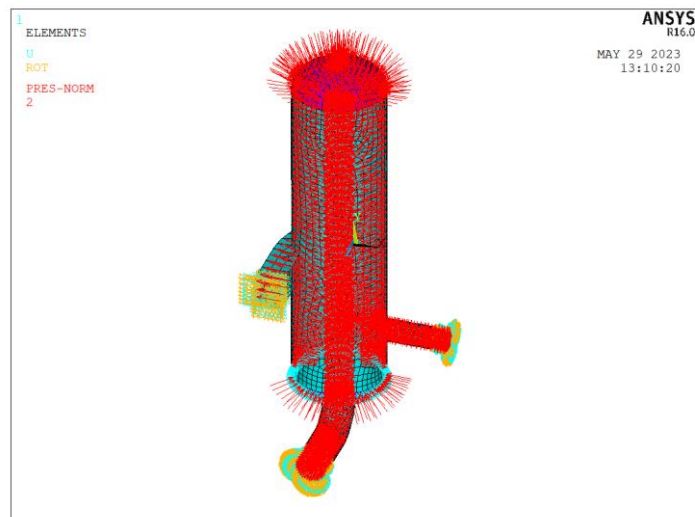
Pada tahap ini desain separator harus diberi kondisi batas. Kondisi batas (*boundary conditions*) yang diterapkan pada bagian inlet, outlet dan *brine* di permodelan ini adalah *fixed support* pada semua node agar tidak dapat bergerak ke segala arah. Sedangkan pada bagian bawah *shell* kondisi batas (*boundary condition*) sebagai simulasi dari leg support untuk silinder vertical dimana semua node tidak dapat bergerak hanya pada arah sumbu-Y. Kondisi batas ditampilkan pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 *Boundary Condition*

3.6 Loading

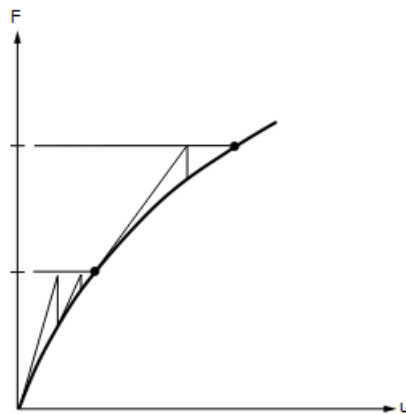
Beban yang bekerja adalah beban tekanan internal sebesar 3 MPa. Beban ini bekerja secara *ramped* sampai dengan didapatkan limit (solusi terakhir yang konvergen) Solusi yang digunakan adalah solusi nonlinier dengan algoritma Newton – Raphson.



Gambar 3.9 Pembebanan dengan Beban *Internal Pressure*

3.7 Solution Nonlinier

Metode yang digunakan untuk mendapatkan *limit load* adalah metode nonlinier analisis, dengan algoritma Newton-Raphson seperti pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Metode Newton-Raphson

3.8 Review Hasil

Pada tahap ini dilakukan review hasil dan analisis hasil. Adapun hasil yang direview dan dianalisis adalah analisa tegangan dan *limit laod* pada separator dua fasa. Untuk melakukan review hasil ada dua jenis *Post-Processing*, yaitu *Time History Postprocessor (POST26)* dan *General Postprocessor (POST1)*.

3.8.1 *Time-History Postprocessor (POST26)*

Time-History Postprocessor adalah command pada ANSYS untuk menampilkan review hasil pada lokasi tertentu untuk setiap nilai kenaikan beban. Hasil dari *Time-History Postprocessor* berupa grafik, daftar table, melakukan operasi matematika pada banyak data, maupun mempresentasikan sebuah diagram.

3.8.2 *General Postprocessor (POST1)*

General Postprocessor adalah *command* pada ANSYS untuk melakukan review hasil pada keseluruhan desain untuk satu nilai beban. Hasil dari *General Postprocessor* berupa kontur, vector, animasi dan table elemen.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Limit pressure* pada desain separator dua fasa menurut Bangma (1961) adalah 2,339 MPa ($1,726 P_D$). Pada desain separator dua fasa menurut Lazalde-Crabtree didapatkan nilai *limit pressure* sebesar 1,734 MPa ($1,280P_D$). Sedangkan *limit pressure* pada desain separator dua fasa dengan Spiral Inlet adalah 1,473 MPa ($1,087P_D$).
- b. Distribusi tegangan arah aksial pada desain separator dua fasa menurut Bangma (1961) pada *inlet* adalah 132,66 MPa ($1,34\sigma_D$). Tegangan maksimum pada node yang berjarak 201,85 mm ($1,18 \sqrt{RT}$) dari inlet dengan nilai tegangan maksimum sebesar 206,16 MPa ($2,08 \sigma_D$), sedangkan distribusi *stress* mulai mereda pada jarak $5,89 \sqrt{RT}$. Distribusi tegangan arah aksial pada desain separator dua fasa menurut Lazalde-Crabtree (1984) yang terjadi pada *inlet* adalah 154,76 MPa ($1,56 \sigma_D$) dimana *stress* maksimum terletak pada inlet. Distribusi *stress* pada desain tersebut mulai mereda pada jarak $4,87 \sqrt{RT}$. Sedangkan desain separator dua fasa dengan Spiral Inlet distribusi tegangan arah aksial yang terjadi pada *inlet* sebesar 117,32 MPa ($1,18 \sigma_D$), sedangkan distribusi *stress* mulai mereda berada pada jarak $2,93 \sqrt{RT}$ dari inlet.

c. Pada desain separator dua fasa menurut Bangma (1961) distribusi tegangan arah hoop pada *inlet* adalah 65,86 MPa ($0,66\sigma_D$). Tegangan mencapai tegangan maksimum pada desain separator dua fasa menurut Bangma (1961) terjadi pada jarak 631,27 mm ($3,70\sqrt{RT}$) dari *inlet* dengan besar tegangan 206,57 MPa ($2,08\sigma_D$), sedangkan distribusi *stress* mulai mereda pada jarak $8,23\sqrt{RT}$. Distribusi tegangan arah hoop pada desain separator dua fasa menurut Lazalde-Crabtree (1984) pada *inlet* adalah 196,92 MPa ($1,98\sigma_D$). Tegangan maksimum berada pada jarak 120,37 mm ($0,67\sqrt{RT}$) dari *inlet* dengan besar tegangan 204,31 MPa ($2,06\sigma_D$). Distribusi *stress* dari desain tersebut mulai mereda pada jarak $6,13\sqrt{RT}$ dari inlet. Sedangkan pada desain separator dua fasa dengan Spiral Inlet distribusi tegangan yang terjadi pada *inlet* adalah 101,44 MPa ($1,02\sigma_D$) dan distribusi *tegangan* mulai mereda pada jarak $5,98\sqrt{RT}$.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian diatas, untuk penelitian selanjutnya dapat dimodelkan dengan menggunakan ANSYS Workbench agar dapat diperhitungkan beban aliran fluida secara detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, K., and Stewart, M. (2008). *Surface Production Operation Design of Oil Handling System facilities 3rd ed.* Gulf Professional Publishing. Burlington. USA.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. 2019. Section VIII, division 1: rules for construction of pressure vessels, ASME Boiler and Pressure Vessel Code. American Society of Mechanical Engineers, New York.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. 2001. Section VIII, division 2: rules for construction of pressure vessels, ASME Boiler and Pressure Vessel Code. American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Bangma, P. 1961. *The Development and Performance of a Steam-Water Separator for Use on Geothermal Bores.* Proceedings of the U.N. Conference on New Sources of Energy Rome 1961, Vol. 3(Issue G/13): pp. 60 – 77.
- Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoglu, Mehmet. 2019. *Thermodynamics : An Engineering Approach Ninth Edition.* McGraw-Hill Education.
- Chattopadhyay, Somnath. 2005. *Pressure Vessel Design and Practice.* CRC press.
- Fafard, M., and Massicotte, B., 1993. *Geometrical Interpretation of the Arc-Length Methods.* Computers and Structures, Vol. 46 No.4, pp. 603 – 615.
- Foong, K.C. 2005. *Design Concept for a More Efficient Steam - Water Separator.* Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey.
- Josefsson V.A. 2016. *Steam Separation System Development. Icelandic Geothermal Conference.* Iceland, 26-29 April, 2016 Reykjavik, Iceland.
- Lazalde-Crabtree, H. 1984. Design Approach of Steam-Water Separators and Steam Dryers for Geothermal Applications. Geothermal Resources Council Bulletin(September): 11 – 20.
- Lubis, Asnawi & Akmal, Jamiatul.2005. *An Assessment of The Maximum Stresses in The Intersecting Cylinders Subjected to Internal Pressure.* Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri.
- Megyesy, Eugene F.2001. *Pressure Vessel Handbook Twelfth Edition.* Library of Congress Control, Tulsa, Oklahoma.
- Minoli, F., Snaidero, M., dan Frassinetty, M. 2017. *Selection Criteria of Optimal Separation Pressure of Liquid Dominated Geothermal Resources.* IV International Semniar on URC Power Systems, 13 – 15 September 2017, Milano, Itali.

- Moss, R. Dennis. 2004. *Pressure Vessel Design Manual 3th edition*. Gulf Professional Publishing. USA.
- Perry, H.P., Green, W.D., and Maloney, J.O. 1997. *Perry's Chemical Engineers Handbook 7th ed.* McGraw-Hill. New York.
- Ifayefunmi, O., Ismail, M. S., & Othman, M. Z. A. (2021). *Buckling of unstiffened cone-cylinder shells subjected to axial compression and thermal loading*. *Ocean Engineering*, 225(January), 108601. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108601>
- Rivas-Cruz, F., García-Gutiérrez, A., Martínez-Estrella, J.I., and Ortiz-Bolaños, A.A., 2015. *Design and Evaluation of Geothermal Steam Separators: A Review of the State of Art*. GRC Transaction, Vol. 39, 881 – 886.
- Rizaldi, Zarrouk, S.J., and Morris, C., 2016. *Liquid Carryover in Geothermal Steam-Water Separators*. Proceedings 38th New Zealand Geothermal Workshop 23 - 25 November, Auckland, New Zealand.
- Santoso, Y.A., and Zarrouk, S.J., 2017. *Geothermal Steam Water Separation Sizing for Optimum Powerplant Cost*. Proceeding 39th New Zealand Geothermal Workshop, 22 - 24 November, Rotorua, New Zealand.
- Svrcek, W.Y., and Monnery, W.D., 1993. *Design Two-Phase Separator within the Right Limits*. Fluid/Solids Handling
- Timoshenko, S.P., and Gere, J.M., 1961. *Theory of Elastic Stability*. Mc-Graw Hill Book Co., NY
- Valdimarsson, P. 2011. *Geothermal Powerplant Cycles and Main Components*. Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Powerplant. Organized by UNU-GTF and LaGeo, in Santa Tecla, Elsalvado, Januari 16 – 22.
- Vullo, V. 2014. *Circular Cylinders and Pressure Vessels*. Springer International Publishing, Switzerland.
- Zarrouk, S. J., & Purnanto, M. H. 2014. *Geothermal steam-water separators: Design overview*. *Geothermics*, 53, 236-254.