

## Analisis Tegangan Pada Beberapa Jenis Ejektor Uap

Bagus Budiwantoro<sup>1, a</sup>, I Nengah Diasta<sup>2, b</sup>, dan Reinaldo Sahat Samuel Hutabarat<sup>1, c</sup>

<sup>1</sup>Lab. EDC FTMD Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesa No.10 Bandung, Indonesia.

<sup>2</sup>Lab. Mesin-mesin Fluida FTMD Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesa No.10 Bandung, Indonesia.

<sup>a</sup>[budiwan@edc.ms.itb.ac.id](mailto:budiwan@edc.ms.itb.ac.id), <sup>b</sup>[inengahdiasta@gmail.com](mailto:inengahdiasta@gmail.com), <sup>c</sup>[reinaldo.ssh@gmail.com](mailto:reinaldo.ssh@gmail.com)

### Abstrak

Ejektor uap adalah sebuah komponen penting dalam refrigerasi dan *air conditioning*, desalinasi, penyulingan minyak bumi, petrokimia, dan industri kimia. Ejektor uap ini merupakan sebuah bagian yang tidak terpisahkan pada proses destilasi, konsender dan juga proses perpindahan panas. Ejektor uap itu sendiri bekerja dengan cara mencampurkan uap atau gas dengan kapasitas dan kualitas yang berbeda sehingga dapat menghasilkan penambahan pada kapasitas dan kualitas gas atau uap tersebut.

Beberapa sumur pada gas atau uap panas bumi menghasilkan kapasitas dan kualitas gas atau uap yang rendah. Sumur-sumur dengan kapasitas dan kualitas yang rendah tersebut biasanya tidak dimanfaatkan maksimal atau tidak digunakan sama sekali, padahal biaya yang dibutuhkan sama dengan sumur dengan kualitas tinggi. Ejektor uap dapat digunakan untuk mencampur sumur dengan kapasitas dan kualitas gas atau uap yang rendah dengan sumur yang kapasitas dan kualitasnya tinggi, sehingga akan menghasilkan penambahan kapasitas dan kualitas gas atau uap.

Makalah ini menjelaskan perbandingan distribusi tegangan yang terjadi pada beberapa jenis ejektor uap yang dirancang. Spesifikasi panjang *mixing chamber* dan juga luas *nozzle* sudah ditetapkan pada awalnya, dan analisis penentuan tebal minimum dengan menggunakan standar IPS-E-PR-745. Setelah semua dimensi ejektor uap diperoleh, dianalisis keadaan distribusi tekanan pada ejektor uap dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Distribusi tekanan yang dihasilkan menjadi beban pada analisis kekuatan ejektor uap, menggunakan metode elemen hingga pada *solid body*-nya, dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS*.

Analisis tekanan dan tegangan dilakukan terhadap tiga jenis ejektor uap. Masing-masing ejektor akan dialiri uap yang berasal dari sumur kualitas rendah dan kualitas tinggi. Terdapat 9 kombinasi campuran uap sumur kualitas rendah, dengan variasi tekanan antara 120 psig ÷ 150 psig, dan kualitas tinggi, dengan variasi tekanan antara 125 psig ÷ 155 psig.

Dari analisis *ANSYS Fluent* diperoleh tekanan maksimum yang terjadi di salah satu ejektor dan salah satu kombinasi campuran uap hanyalah 1,52 MPa dan tegangan maksimum yang terjadi adalah 42,06 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga jenis ejektor uap dari sisi kekuatan material aman digunakan untuk setiap kombinasi campuran uap sumur.

**Kata kunci :** Perancangan, Ejektor Uap, Metode Elemen Hingga, Energi Panas Bumi

### 1. Pendahuluan

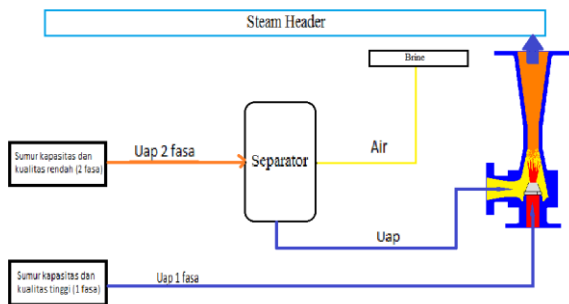
Energi panas bumi pada saat ini sangat diminati dan diproyeksikan menjadi sumber energi utama di masa depan. Selain ramah lingkungan, energi panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan. Beberapa sumur

pada gas atau uap panas bumi menghasilkan kapasitas dan kualitas gas atau uap yang

rendah. Sumur-sumur dengan kapasitas dan kualitas yang rendah tersebut biasanya tidak dimanfaatkan maksimal atau tidak digunakan sama sekali, padahal biaya yang dibutuhkan

sama dengan sumur dengan kapasitas dan kualitas tinggi.

Ejektor uap merupakan sebuah alat yang dapat mencampurkan dua buah uap dengan tekanan berbeda dan kapasitas dan kualitas yang berbeda menjadi campuran uap dengan tekanan yang sama dan kapasitas dan kualitas yang sama. Ejektor uap dapat digunakan untuk mencampur sumur dengan kapasitas dan kualitas gas atau uap yang rendah dengan sumur yang kapasitas dan kualitasnya tinggi, sehingga akan menghasilkan penambahan kapasitas dan kualitas gas atau uap yang secara skematis dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

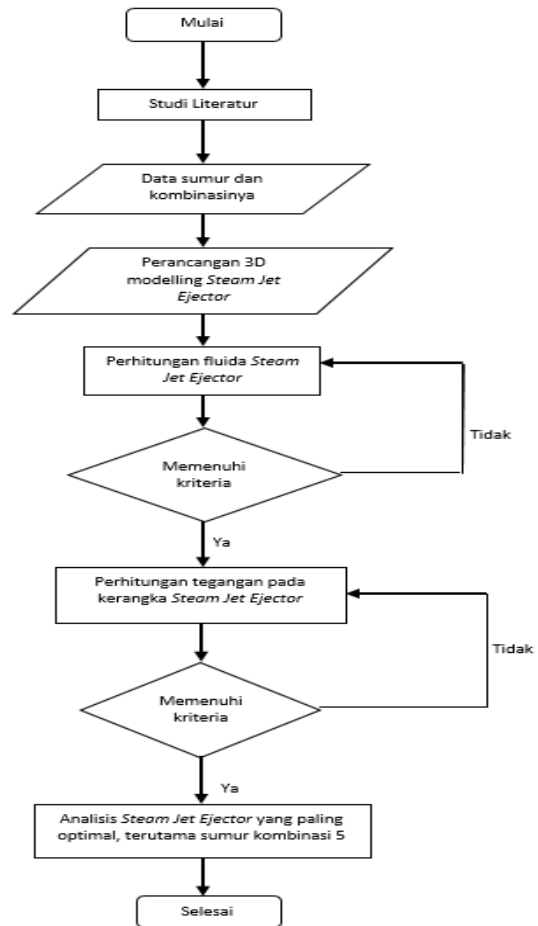


Gambar 1. Skematis Pemanfaatan Sumur Kapasitas dan Kualitas Rendah

Makalah ini menjelaskan perbandingan distribusi tegangan yang terjadi pada beberapa jenis ejektor uap yang dirancang. Spesifikasi panjang *mixing chamber* dan juga luas *nozzle* sudah ditetapkan pada awalnya, dan analisis penentuan tebal minimum dengan menggunakan standar IPS-E-PR-745. Setelah semua dimensi ejektor uap diperoleh, dianalisis keadaan distribusi tekanan pada ejektor uap dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Distribusi tekanan yang dihasilkan menjadi beban pada analisis kekuatan ejektor uap, menggunakan metode elemen hingga pada *solid body*-nya, dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS*.

## 2. Metodologi Perancangan dan Analisis

Metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah seperti yang dijelaskan pada diagram alir Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan

### 2.1 Spesifikasi Teknis Ejektor Uap

Spesifikasi teknis ejektor uap dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut adalah:

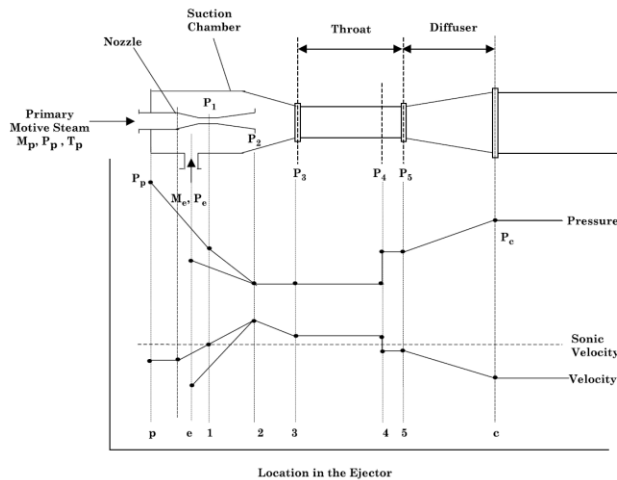
- Tekanan yang masuk dan keluar
- Kecepatan aliran yang diinginkan pada keluaran *nozzle*
- Panjang *mixing* dan *diffuser* untuk mencampurkan uap air.

Adapun spesifikasi teknis yang diinginkan adalah sebagai berikut :

- Panjang *mixing chamber* 1,5 ÷ 2 m.
- Diameter *mixing chamber* 0,15 ÷ 0,2 m.
- Ukuran luas *nozzle* sekitar 150 cm<sup>2</sup>
- Panjang *diffuser* sekitar 3 ÷ 5 m
- Sudut antara bagian dinding *diffuser* dan aksisnya 3° ÷ 5°.
- Tebal minimum daripada ejektor uap adalah 10 cm

## 2.2 Karakteristik Fluida Ejektor Uap

Karakteristik fluida di dalam ejektor uap diperlukan untuk memvalidasi perhitungan elemen hingga pada perangkat lunak *ANSYS Fluent*. Karakteristik tersebut didefinisikan sebagai kecepatan dan tekanan di setiap titik pada fluida di dalam ejektor uap. Gambar 2 menjelaskan bagaimana tekanan dan kecepatan seharusnya di dalam ejektor uap.



Gambar 3. Tekanan dan Kecepatan pada Ejektor uap [ref. 3]

## 2.3 Perhitungan Distribusi Tekanan pada Fluida dan Kerangka Ejektor Uap.

Perhitungan distribusi tekanan pada ejektor uap dilakukan dengan perangkat lunak *ANSYS*, dengan kondisi batas sebagai berikut:

- *Fixed support* pada kerangka ejektor uap bagian fluida masuk dan keluar.
- Aliran masuk dan keluar memiliki tekanan dan temperatur yang sudah ditetapkan
- Tekanan pada kerangka didistribusikan sesuai dengan distribusi tekanan pada fluida

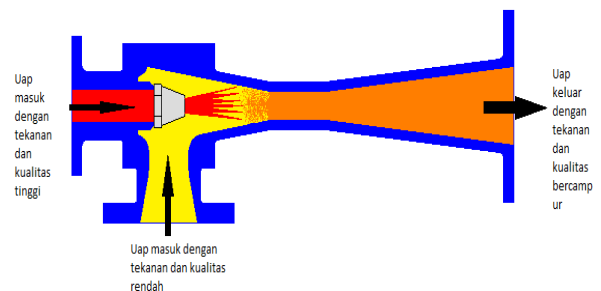
## 3. Data Perhitungan

Ketiga ejektor uap yang dianalisis sudah ditentukan spesifikasi teknisnya. Data kombinasi tekanan masuk dan keluar dari sumur kapasitas dan kualitas rendah dan tinggi adalah seperti yang dijelaskan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data kombinasi sumur

Kombinasi	Tekanan masuk kapasitas dan kualitas rendah (psig)	Tekanan masuk kapasitas dan kualitas tinggi (psig)	Tekanan keluar (psig)
1	129,1	153,5	128,5
2	123,6	129,1	123
3	129,1	143	128,5
4	148,9	153,3	148,4
5	123,8	148,9	123,8
6	143	148,9	148,4
7	134,9	153,3	134,5
8	124,3	134,9	123,3
9	134,9	143	134,5

Gambar 4 berikut menjelaskan beban dan kondisi batas dari analisis tekanan dan kekuatan ejektor uap.



Gambar 4. Skema Uap Masuk dan Keluar

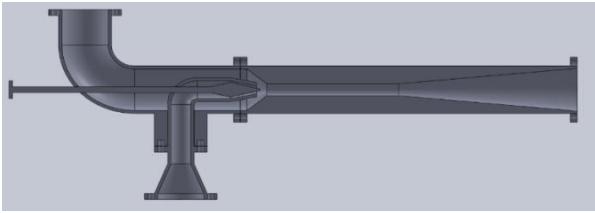
Temperatur masuk dianggap sama dan tetap, yaitu pada temperature 368 °F.

## 4. Pemodelan dan Analisis

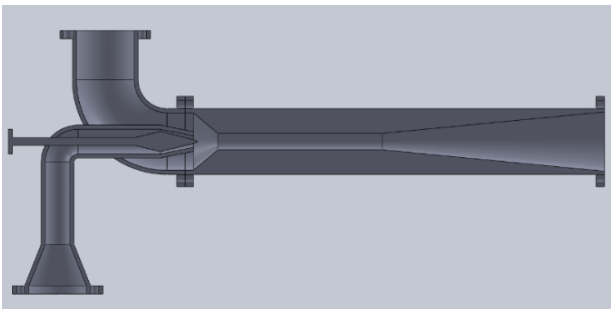
### 4.1 Pemodelan 3D pada *Solidworks*

Model 3D daripada ejektor uap dibuat sesuai dengan kriteria yang ditentukan, dengan mengambil 3 variasi yang telah

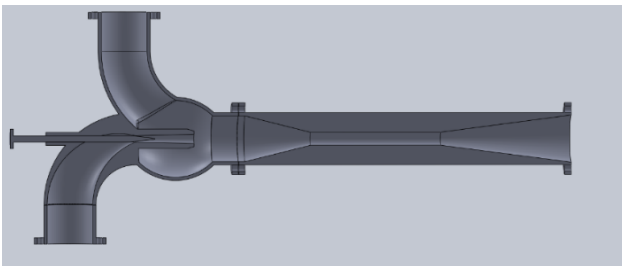
didiskusikan dengan pihak-pihak terkait. Model tersebut dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7.



Gambar 5. Ejektor Uap Model 1



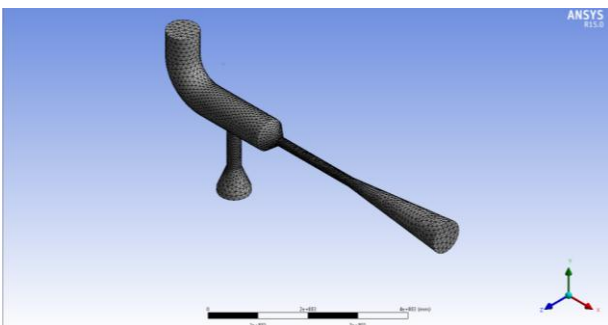
Gambar 6. Ejektor Uap Model 2



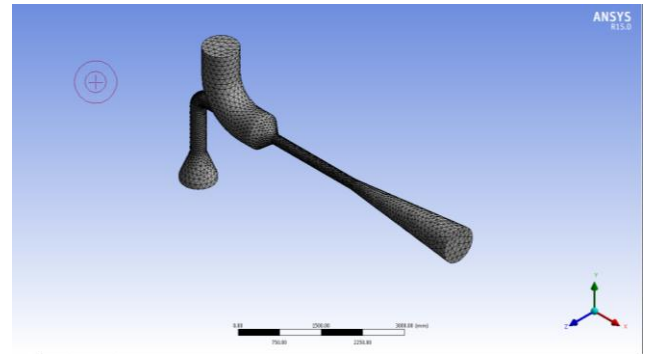
Gambar 7. Ejektor Uap Model 3

#### 4.2 Analisis Fluida dengan ANSYS Fluent

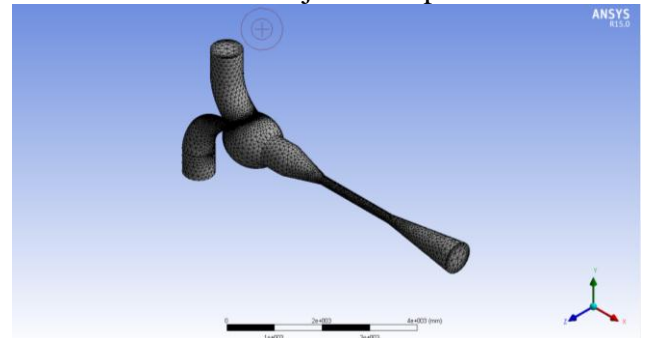
Analisis Fluida menggunakan metode elemen hingga dan bantuan perangkat lunak ANSYS Fluent. Sebelum analisis, dilakukan *meshing* dengan *skewness* dibawah 0,7. Didapatkan *mesh* seperti gambar 8, 9 dan 10.



Gambar 8. Mesh Ejektor Uap Model 1

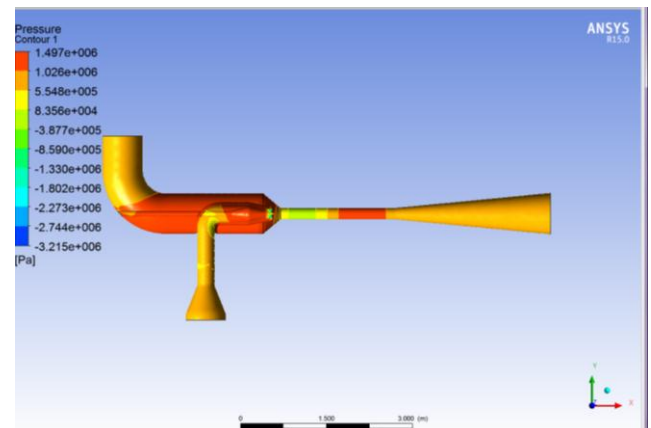


Gambar 9. Mesh Ejektor Uap Model 2

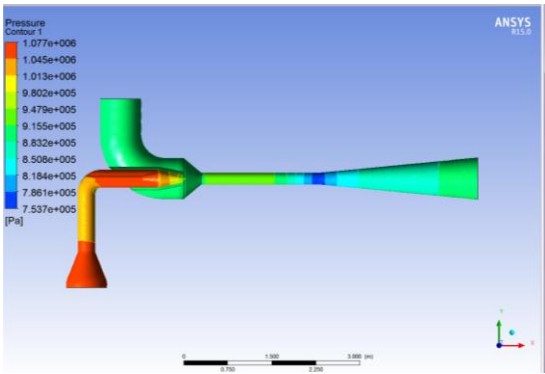


Gambar 10. Mesh Ejektor Uap Model 3

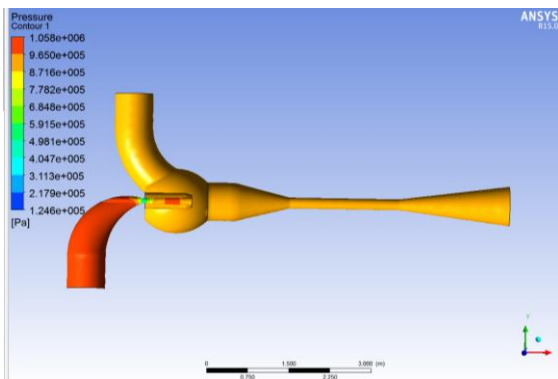
Setelah *meshing* dilakukan, dianalisis distribusi tekanan fluida pada ANSYS Fluent. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada gambar 11, 12 dan 13.



Gambar 11. Distribusi Tekanan pada Ejektor Uap Model 1



Gambar 12. Distribusi Tekanan pada Ejektor Uap Model 2



Gambar 13. Distribusi Tekanan pada Ejektor Uap Model 3

Distribusi tekanan untuk semua kombinasi sumur relatif sama, tetapi berbeda pada nilai tekanan maksimum dan minimumnya. Tabel 2, 3 dan 4 menunjukkan tekanan maksimum dan minimum setiap model ejektor uap.

Tabel 2. Tekanan Maksimum dan Minimum pada Ejektor Uap Model 1

Kombinasi	Tekanan Maksimum (MPa)	Tekanan Minimum (MPa)
1	1,42	-3,23
2	1,35	-3,36
3	1,42	-3,12
4	1,52	-3,49
5	1,43	-2,98
6	1,49	-3,22
7	1,48	-2,88
8	1,38	-3,32

9	1,43	-3,24
---	------	-------

Tabel 3. Tekanan Maksimum dan Minimum pada Ejektor Uap Model 2

Kombinasi	Tekanan Maksimum (MPa)	Tekanan Minimum (MPa)
1	1,08	0,75
2	1,03	0,87
3	0,99	0,83
4	1,06	0,97
5	0,97	0,84
6	1,04	0,97
7	1,06	0,89
8	0,93	0,79
9	0,98	0,89

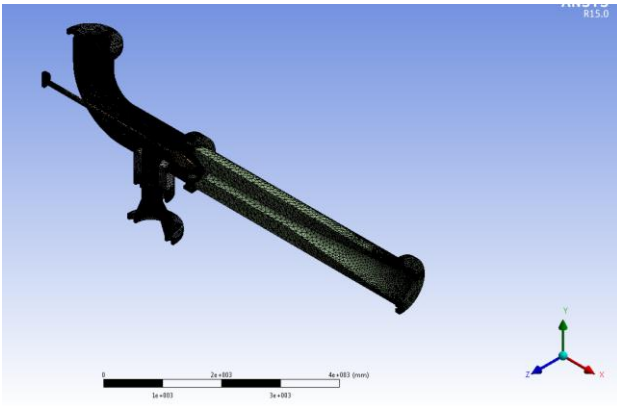
Tabel 4. Tekanan Maksimum dan Minimum pada Ejektor Uap Model 3

Kombinasi	Tekanan Maksimum (MPa)	Tekanan Minimum (MPa)
1	1,058	0,12
2	1,005	0,115
3	1,058	0,124
4	1,133	0,11
5	1,065	0,13
6	1,110	0,116
7	1,102	0,133
8	1,028	0,116
9	1,065	0,119

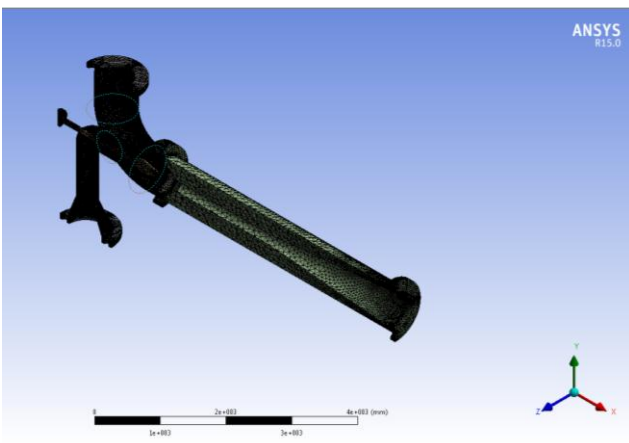
Angka negatif pada tekanan minimum menunjukkan adanya tekanan vakum pada kerangka ejektor uap model 1, yang terletak pada ujung nozzle, sehingga dapat diabaikan dalam perhitungan selanjutnya.

#### 4.3 Perhitungan Tegangan Ekuivalen pada Kerangka Ejektor uap

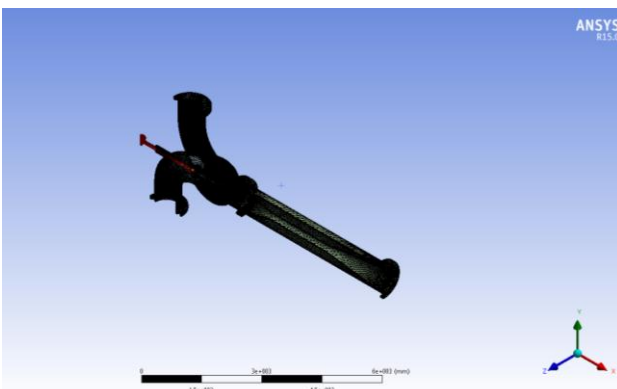
Proses *meshing* dilakukan di bagian kerangka ejektor uap. Hasil mesh didapatkan seperti gambar 14, 15 dan 16.



Gambar 14. Mesh Rangka Ejektor Uap Model 1



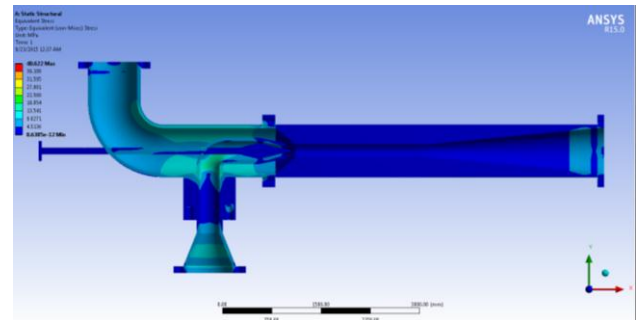
Gambar 15. Mesh Rangka Ejektor Uap Model 2



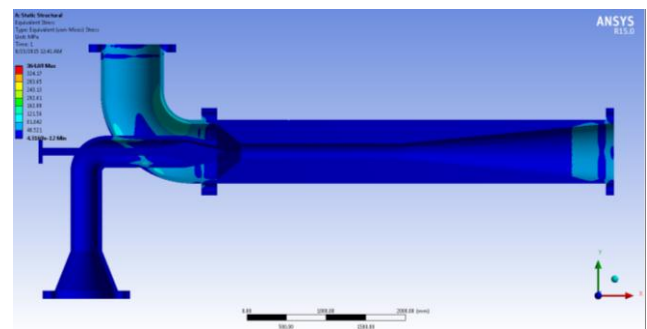
Gambar 16. Mesh Rangka Ejektor Uap Model 3

Setelah *mesh* ditentukan, maka beban tekanan diberikan pada bagian dalam rangka ejektor, sesuai dengan distribusi tekanan pada fluida pada Gambar 11, 12 dan 13. Gambar

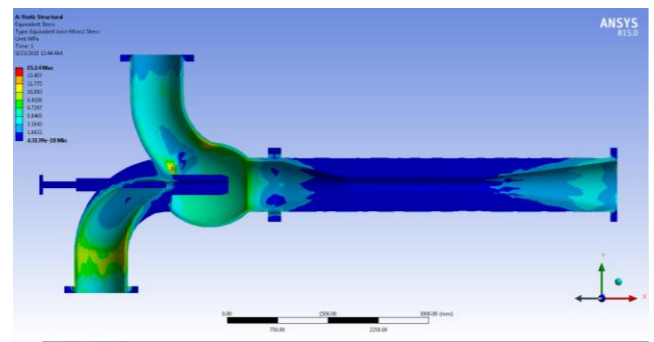
17, 18 dan 19 dibawah menunjukkan distribusi tegangan pada setiap model.



Gambar 17. Distribusi Tegangan Ejektor Uap Model 1



Gambar 18. Distribusi Tegangan Ejektor Uap Model 2



Gambar 19. Distribusi Tegangan Ejektor Uap Model 3

Ketiga model tersebut memiliki persebaran tegangan yang sama, tetapi terdapat perbedaan pada tegangan maksimum dan tegangan minimumnya saja. Tabel 5,6 dan 7 menunjukkan perbedaan tegangan dari ketiga model.

Tabel 5. Tegangan Maksimum dan Minimum pada Ejektor uap Model 1

Kombinasi	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan Minimum (MPa)
1	40,622	$8,64 \times 10^{-13}$
2	37,988	$9,01 \times 10^{-13}$
3	40,012	$5,59 \times 10^{-13}$
4	42,832	$7,86 \times 10^{-13}$
5	40,143	$5,84 \times 10^{-13}$
6	42,06	$6,87 \times 10^{-13}$
7	41,62	$8,77 \times 10^{-13}$
8	38,796	$6,93 \times 10^{-13}$
9	40,412	$7,25 \times 10^{-13}$

Tabel 6. Tegangan Maksimum dan Minimum pada Ejektor Uap Model 2

Kombinasi	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan Minimum (MPa)
1	36,02	$2,589 \times 10^{-12}$
2	33,68	$2,699 \times 10^{-12}$
3	35,479	$1,675 \times 10^{-12}$
4	37,979	$2,355 \times 10^{-12}$
5	35,595	$1,749 \times 10^{-12}$
6	37,295	$2,589 \times 10^{-12}$
7	36,904	$2,059 \times 10^{-12}$
8	34,401	$2,076 \times 10^{-12}$
9	35,833	$2,172 \times 10^{-12}$

Tabel 7. Tegangan Maksimum dan Minimum pada Ejektor Uap Model 3

Kombinasi	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan Minimum (MPa)
1	15,14	$4,319 \times 10^{-10}$
2	14,16	7,5
3	14,91	7,5
4	15,96	9,4
5	14,96	-2,1
6	15,67	-2,2
7	15,51	5,1
8	14,46	5,1
9	15,06	10,7

#### 4.4 Analisis Model Ejektor Uap

Pada fluida yang terjadi di setiap model ejektor uap, dapat dilihat bahwa tekanan yang berada di fluida sesuai dengan karakteristik daripada ejektor uap, yang berarti valid untuk digunakan.

Dari ketiga fluida model ejektor uap tersebut, model 2 merupakan model dengan tekanan maksimum dan minimum dengan rentang paling rendah, sehingga tekanan pada fluida di dalam ejektor uap lebih stabil

Dari analisis *ANSYS Fluent* diperoleh tekanan maksimum yang terjadi di salah satu ejektor dan salah satu kombinasi campuran uap hanyalah 1,52 MPa dan tegangan maksimum yang terjadi adalah 42,06 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga jenis ejektor uap dari sisi kekuatan material aman digunakan untuk setiap kombinasi campuran uap sumur.

Perhitungan dinyatakan valid dengan melihat *skewness* dari *mesh* pada ejektor uap, yaitu dibawah 0,7.

#### 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari analisis tegangan pada beberapa ejektor uap adalah sebagai berikut:

1. Perancangan ejektor uap terdiri dari 3 model, dengan spesifikasi teknis yang sudah ditetapkan.
2. Tekanan fluida yang terdapat pada model 1, model 2 dan model 3 terdistribusi sesuai karakteristik Ejektor uap, dengan tekanan maksimal sekitar 1 MPa.
3. Tegangan ekuivalen pada model 1, model 2 dan model 3 berbeda-beda karena pengaruh bentuk. Model 1 dan 2 memiliki tegangan hampir sama, model 3 memiliki tegangan paling kecil.
4. Secara keseluruhan diperoleh tekanan maksimum yang terjadi di salah satu ejektor dan salah satu kombinasi campuran uap adalah 1,52 MPa dan tegangan maksimum yang terjadi adalah 42,06 MPa.

Disimpulkan bahwa ketiga jenis ejektor uap dari sisi kekuatan material aman digunakan untuk setiap kombinasi campuran uap sumur.

#### **Referensi**

- [1] Hisham El-Dessouky, Evaluation of Steam Jet Ejector, Kuwait, 2001.
- [2] Iranian Ministry of Petroleum, Engineering Standard for Process Design of Vacuum Equipment, Iran, 1993.
- [3] Somsak Watanawavet, Optimization of a High-Efficiency Jet Ejector by Computational Fluid Dynamics Software, Texas, 2005.