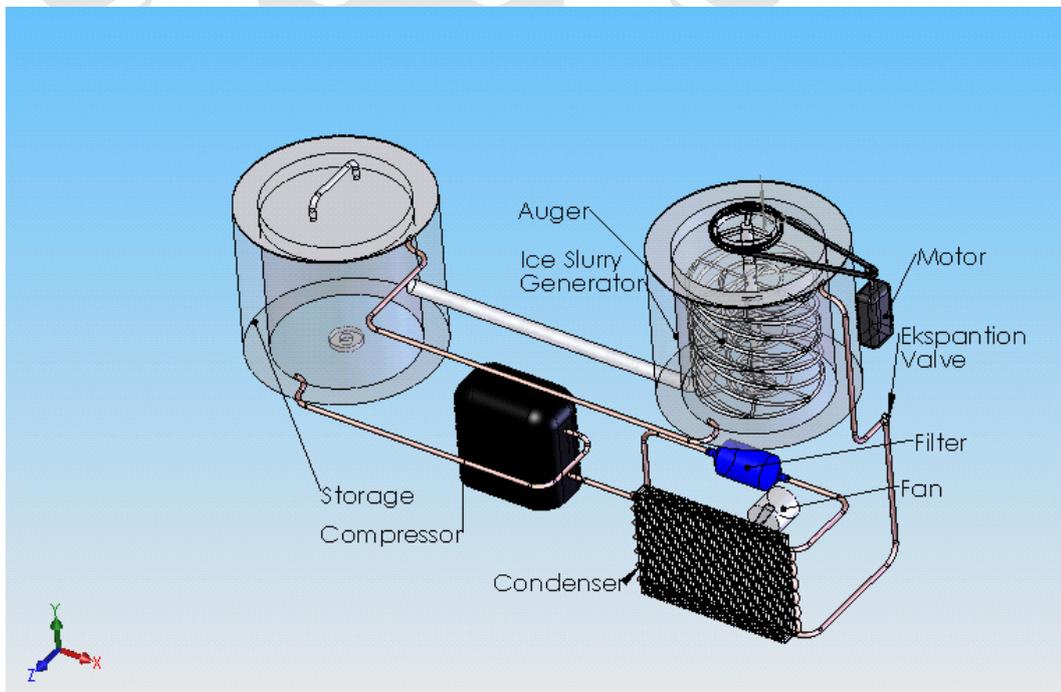


BAB III

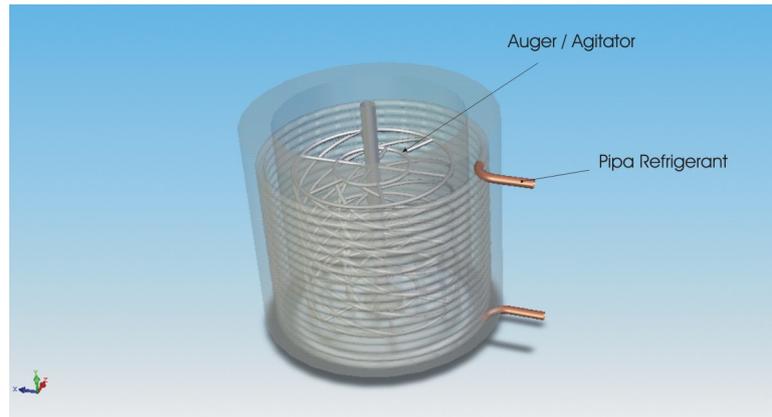
PERANCANGAN *SCRAPER*

3.1 DESKRIPSI *ICE SLURRY GENERATOR*

Pada gambar 3.1 dapat dilihat sistem pendingin dari *ice slurry generator* yang digunakan, alat ini memiliki komponen utama yaitu *generator* yang berfungsi mengambil kalor dari larutan *ice slurry*, kondenser, compressor dan *agitator / auger* yang berfungsi mengaduk agar tidak terjadi penggumpalan / aglomerasi. *Scraper* yang akan dibuat nantinya merupakan *scraper* yang harus dapat menyatu dengan *auger* dan *ice slurry generator* yang telah ada namun masih dapat melakukan fungsinya sebagai alat penyapu *ice scaling* dengan efektif. Oleh karena itu perlu diperhatikan dahulu bentuk dan dimensi dari *ice slurry generator* yang telah ada. Instalasi sistem *ice slurry generator* yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 3.1. Instalasi sistem pendingin *ice slurry generator* yang digunakan



Gambar 3.2. Bagian –bagian pada *ice slurry generator*

Deskripsi dari *Ice slurry Generator* sebagai berikut:

Diameter *Auger*, D_a : 220.2 mm

Diameter dalam *ice slurry generator*, D_g : 258 mm

Tinggi : 230 mm

Daya tampung larutan maksimum : 8 liter

Material dinding *Heat transfer* : Stainless Steel Sheet

Material *Auger* : Stainless Steel Tube

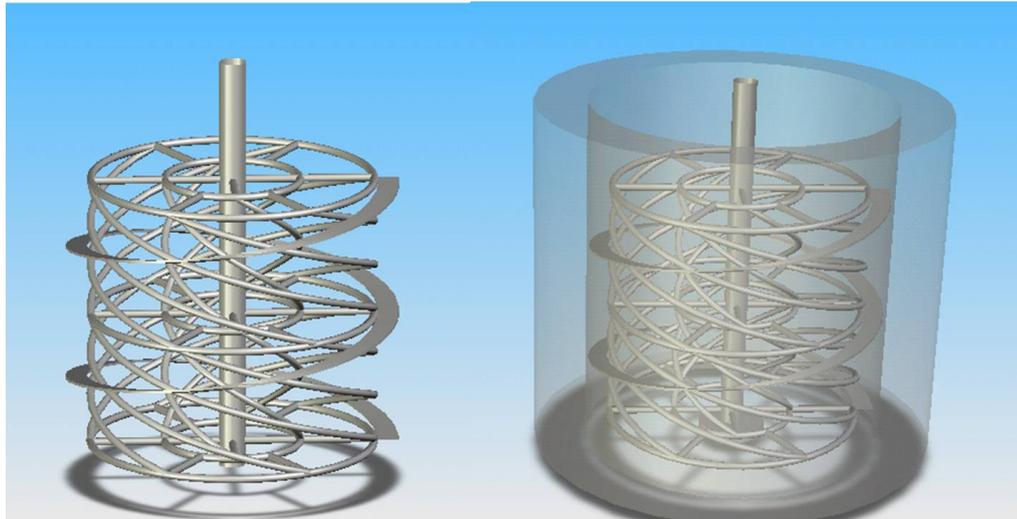
Daya compressor = 1 HP

3.2 KONSEP DESAIN

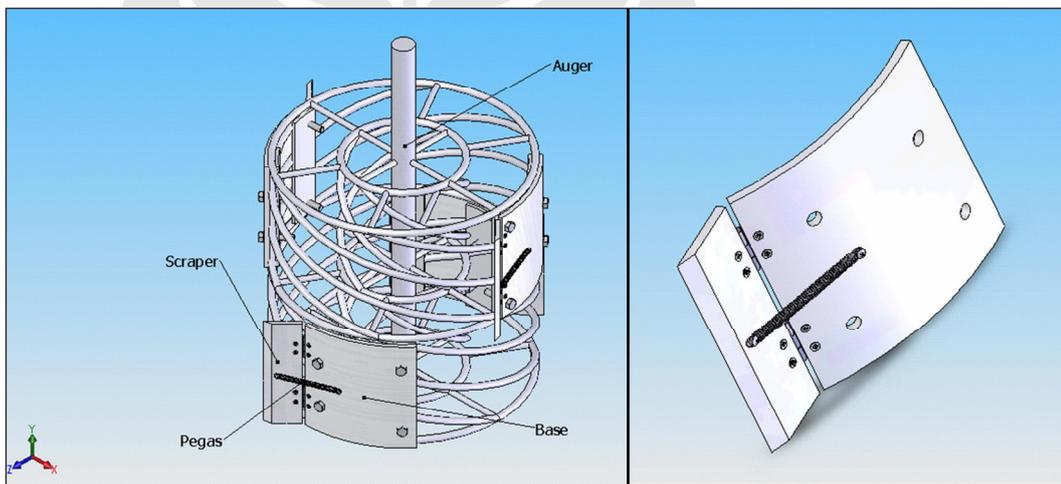
Dasar pemikiran penggunaan *scraper* pada *ice slurry generator* ialah untuk meningkatkan perpindahan kalor dengan cara menyapu lapisan *mushy* yang menempel pada dinding dan menciptakan turbulensi pada pola alirannya. Sehingga *scraper* ini harus memiliki persyaratan :

- Tidak mengalami deformasi akibat gaya adhesi dari lapisan *mushy* dan gaya drag dari *ice slurry*.
- Tidak merusak dinding *ice slurry generator* yang terbuat dari lembaran stainless steel.
- Mampu di assembly dengan baik pada *auger*.
- Memiliki dimensi yang sesuai dengan ruang yang tersedia.

Atas dasar persyaratan diatas, terdapat dua bentuk *scraper* yang dapat di ajukan, yaitu :



Gambar 3.3. Bentuk *scraper* desain A



Gambar 3.4 Bentuk *scraper* desain B

3.3 PEMILIHAN DESAIN

Desain A mengharuskan penggunaan material logam dan tahan karat sehingga ia akan memiliki berat yang lebih dan harus memiliki *clearence* dengan dinding *heat transfer* sehingga lapisan *mushy* tidak dapat tersapu bersih dari dinding. Pada desain B, material tidak harus logam dan adhesi es pada dinding diperkirakan dapat disapu bersih karena ia akan selalu kontak dengan dinding *heat transfer*. Berdasarkan hal ini maka akan dipergunakan desain B.

Tabel III.1. Kriteria pemilihan desain

Kriteria	Desain A	Desain B
Kekuatan	√	
Efektivitas		√
Kemudahan <i>Manufacture</i>		√
Pemeliharaan/Perbaikan		√
Ringan		√
Biaya	√	

3.4 PEMILIHAN MATERIAL

Material yang akan digunakan haruslah memiliki sifat tahan karat, memiliki perbandingan densitas dan strenght yang cukup kuat, lebih lembut dari logam stainless steel, dan memiliki ketahanan terhadap wear yang baik. Berdasarkan hal diatas maka material kelompok logam, elastomers dan keramik tidak dapat digunakan, sehingga tersisa dua kelompok material yaitu komposit dan polymer. Karena pada umumnya harga untuk komposit relatif mahal maka tersisa satu kelompok material yang dapat digunakan yaitu polymer. Polymer memiliki sifat fisik yang sangat dipengaruhi suhu, pada temperatur rendah mereka keras, getas, dan memiliki sifat seperti kaca sedangkan sebaliknya pada temperatur tinggi, mereka sangat lunak. Temperatur dimana mulai terlihat perubahan sifat fisik ini disebut temperatur transisi glass untuk suhu rendah sedangkan untuk suhu tinggi, temperatur melting. Polymer memiliki semua karakteristik diatas namun karena *scraper* ini nantinya akan beroperasi pada suhu rendah sehingga ada satu sifat fisik dari polymer yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis polymer untuk *scraper* ini yaitu temperatur transisi glass, jenis polymer yang akan digunakan haruslah memiliki temperatur transisi glass lebih rendah dibandingkan daerah operasi temperatur *ice slurry*. Berdasarkan hal diatas maka dapat dipilih material yang diperkirakan dapat dipergunakan ialah *High Density Polyethelene* dengan sifat fisik [5]:

$$\text{Densitas, } \rho_{PE} = 952.1 - 965 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Modulus elastisitas, } E_{PE} = 1.07 - 1.09 \text{ Gpa}$$

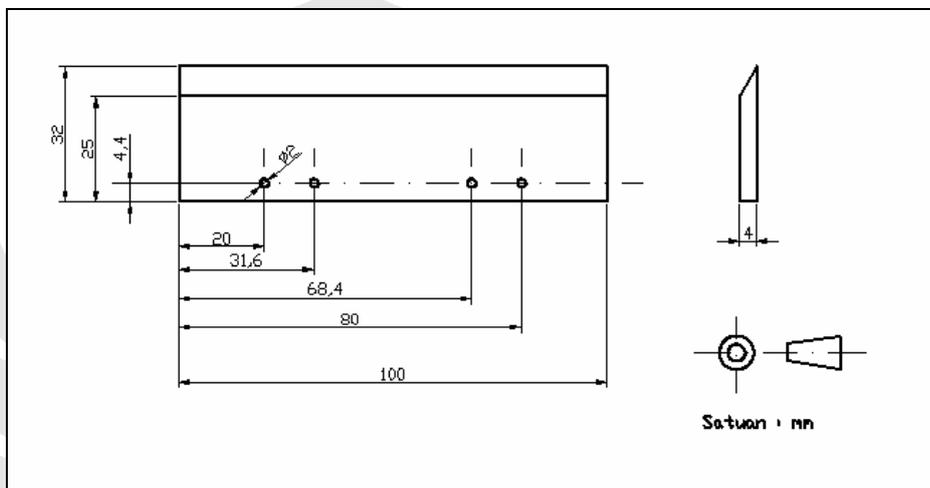
$$\text{UTS}_{PE} = 22 - 31 \text{ Mpa}$$

$$\text{Temperature transisi glass, } T_g = -90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperature } \textit{melting}, T_m = 137 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.5 PENETUAN DIMENSI

Dimensi *scraper* ditentukan berdasarkan pertimbangan dua hal yaitu sudut serang *scraper* dan ketersediaan ruang. Sudut serang *scraper* yang kecil dapat menyapu lapisan *mushy* lebih baik namun semakin kecil sudut serangnya semakin panjang pula *scraper*-nya yang juga berarti membutuhkan ruangan yang lebih besar. Atas dasar pertimbangan inilah maka dapat ditentukan dimensi *scraper* yang diperkirakan mampu memenuhi kedua kriteria diatas. Dengan dimensi seperti yang terlihat pada gambar 3.5, dapat diukur sudut serang *scraper* menggunakan software Solid Works yaitu kurang lebih 50° .

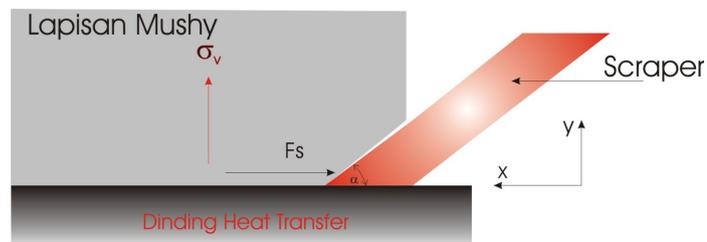


Gambar 3.5. Dimensi *scraper*

3.6 ESTIMASI GAYA-GAYA

3.6.1 Gaya Yang Bekerja Pada *Scraper* Akibat Ice Scaling

Interaksi antara *scraper* dan lapisan *mushy* dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.6. Gaya akibat ice scaling

Penjabaran yang mendalam mengenai gaya yang diperlukan untuk memotong lapisan *mushy* yang menempel pada dinding telah dilakukan oleh M. Ishikawa et al. dan menunjukkan hasil yang memuaskan terhadap hasil eksperimennya. Gaya maksimum yang bekerja pada *scraper* dapat diestimasi dengan persamaan 2.17. Dimana modulus elastisitas lapisan *mushy* ≈ 10 Mpa, sudut serang *scraper*, $\phi = 50^\circ$. Koefisien gesek kinetis antara lapisan *mushy* dengan *scraper*, $\mu_1 \approx 0.02$ [6], dan koefisien gesek kinetis antara *scraper* dengan dinding, $\mu_2 \approx 0.5$ [7]

Dari hasil *eksperiment* awal selama 2 jam dengan konsentrasi awal, $\phi_0 = 5\%$ diketahui temperatur setimbang *ice slurry* mencapai $T_s = -2^\circ\text{C}$ dan temperatur dinding $T_{\text{wall}} = -7.5^\circ\text{C}$, sehingga

$$\begin{aligned}\phi_w \cdot 100 &= -3.409 \cdot 10^{-2} \cdot (-7.5) - 0.1429 \cdot 10^{-2} \cdot (-7.5)^2 - 4.401 \times 10^{-5} \cdot (-7.5)^3 \\ &\quad - 7.259 \times 10^{-7} \cdot (-7.5)^4 - 4.809 \times 10^{-9} \cdot (-7.5)^5 \\ \phi_w &= 0.192\end{aligned}$$

Dari persamaan 2.19, dapat diestamasi konsentrasi es pada lapisan *mushy* ialah

$$\phi_f = \frac{\phi_0 + \phi_w}{2} = \frac{0.05 + 0.0192}{2} = 0.121$$

Gaya adhesi persatuan luasnya, dihitung menggunakan persamaan 2.18

Dengan delta waktu dievaluasi pada kecepatan putar 100 rpm

$$\Delta t = \frac{60}{2\omega} = \frac{60}{2 \cdot 100} = 0.3 \text{ sekon}$$

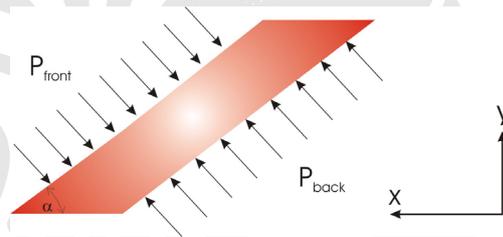
$$\begin{aligned}\sigma_v &= 0.127 \times 10^6 \cdot \frac{\phi_f - \phi_0}{\phi_f} \cdot \Delta t \\ &= 0.127 \times 10^6 \cdot \frac{0.121 - 0.05}{0.121} \cdot 0.3 = 22335.21 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Subtitusi seluruh nilai yang diketahui ke persamaan 2.17, besarnya gaya pada *scraper* ialah

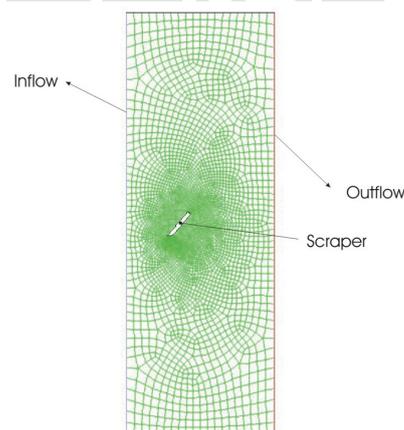
$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{2LH\sigma_v^2}{E} \tan \alpha \frac{1 + \frac{\mu_2}{\tan \alpha + \mu_1}}{\left(\frac{1 - \mu_1 \tan \alpha}{1 + \mu_1 \tan \alpha} \right)^2} \\
 &= \frac{2 \cdot 0.81 \cdot 0.1 \cdot (22335.21)^2}{10} \tan 50 \frac{1 + \frac{0.5}{\tan 50 + 0.02}}{\left(\frac{1 - 0.02 \tan 50}{1 + 0.02 \tan 50} \right)^2} \\
 &= 14.97 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3.6.2 Gaya Dinamis Fluida

Apabila suatu benda bergerak dalam fluida yang memiliki densitas dan viskositas yang cukup tinggi maka gaya akibat tumbukan dengan fluida yang dialami benda tersebut tidak dapat diabaikan, gaya drag normal pada *scraper* diilustrasikan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.7. Gaya akibat dinamika fluida



Gambar 3.8. Computational Domain (2D) pada Model CFD yang digunakan

Untuk menghitung besarnya gaya drag yang terjadi, digunakan metode CFD menggunakan software FLUENT 6.2. Dimana dalam analisa CFD ini

digunakan asumsi bahwa *ice slurry* sebagai fluida newtonian. Bentuk model dan grid yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.8. Data-data berikut digunakan dalam simulasi CFD :

- Fraksi massa es *ice slurry* pada temperatur -2°C

Fraksi massa es yang terbentuk untuk larutan ethylene glycol dengan konsentrasi awal 5% dan temperatur setimbang -2°C , diestimasi menggunakan persamaan 2.3,

$$\phi_{es} = \frac{\phi_s - \phi_0}{\phi_s}$$

Dengan ϕ_s diestimasi dari persamaan 2.4

$$\begin{aligned} \phi_s &= -3.409 \cdot 10^{-2} (-2) - 0.1429 \cdot 10^{-2} (-2)^2 - 4.401 \times 10^{-5} (-2)^3 - 7.259 \times 10^{-7} (-2)^4 \\ &\quad - 4.809 \times 10^{-9} (-2)^5 \\ \phi_s &= 0.063 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\phi_{es} = \frac{\phi_s - \phi_0}{\phi_s} = \frac{0.063 - 0.05}{0.063} = 0.204$$

- Massa jenis *ice slurry* pada temperatur -2°C

Massa jenis *ice slurry* dapat diestimasi menggunakan persamaan 2.8:

$$\rho_{is} = \frac{1}{\left[\frac{\phi_{es}}{\rho_{es}} + \frac{(1 - \phi_{es})}{\rho_{sol}} \right]}$$

Dengan densitas es didapat dari persamaan 2.9

$$\rho_{es} = 917 + 1.73 \times 10^{-4} \cdot (-2) = 917 \text{ kg/m}^3$$

Dan massa jenis larutan pada temperatur -2°C , diestimasi menggunakan persamaan 2.5 yaitu

$$\begin{aligned} \rho_{sol} &= \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^3 \left(C_{ij} (0.204 \cdot 100 - 38.1615)^i \cdot ((-2) - 6.3333)^j \right) \\ &= 1007.21 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\rho_{is} = \frac{1}{\left[\frac{0.204}{917} + \frac{(1-0.204)}{1007.21} \right]}$$

$$= 987.405 \text{ kg/m}^3$$

- Viskositas *ice slurry* pada temperatur -2°C

Viskositas larutan diestimasi dari persamaan 2.6, yaitu:

$$\mu_{sol} = \frac{\exp \left\{ \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^3 \left(C_{ij} \cdot (0.05 \cdot 100 - 38.1615)^i \cdot (-2 - 6.3333)^j \right) \right\}}{1000}$$

$$\mu_{sol} = 0.00216 \text{ Pa.s}$$

Karena viskositas *ice slurry* merupakan fungsi fraksi volume es, maka fraksi massa es harus dirubah menjadi fraksi volume es, menggunakan formula:

$$\xi_{es} = \frac{V_{es}}{V_{es} + V_{sol}} = \frac{m_{es}}{m_{es} + \frac{m_{sol} \cdot \rho_{es}}{\rho_{sol}}} \quad (3.1)$$

Mengingat

$$\phi_{es} = \frac{m_{es}}{m_{es} + m_{sol}}$$

Atau dapat disusun ulang menjadi

$$m_{es} = \frac{-\phi_{es} \cdot m_{sol}}{\phi_{es} - 1} \quad (3.2)$$

Substitusi persamaan 3.1 ke 3.2 menghasilkan

$$\xi_{es} = \frac{-\phi_{es}}{-\phi_{es} + \frac{\rho_{es}(\phi_{es} - 1)}{\rho_{sol}}}$$

$$\xi_{es} = 0.22$$

sehingga berdasarkan persamaan 2.12, viskositas *ice slurry*,

$$\mu_{is} = 0.0216 \left(1 + 2.5 \cdot (0.22) + 10.05 \cdot (0.22)^2 + 0.00273 \cdot e^{(16.6 \cdot (0.22))} \right)$$

$$\mu_{is} = 0.00456 \text{ Pa.s}$$

- Kecepatan fluida pada sisi inflow

Scraper ini dianalisa untuk kecepatan putar 300 rpm sehingga kecepatan rata-rata *ice slurry* pada sisi inflow dalam simulasi CFD ialah

$$v = \frac{\pi}{60} \omega \cdot D_a = \frac{\pi}{60} 300 \cdot 0.258 \approx 4 \text{ m/s}$$

bilangan Reynoldsnya :

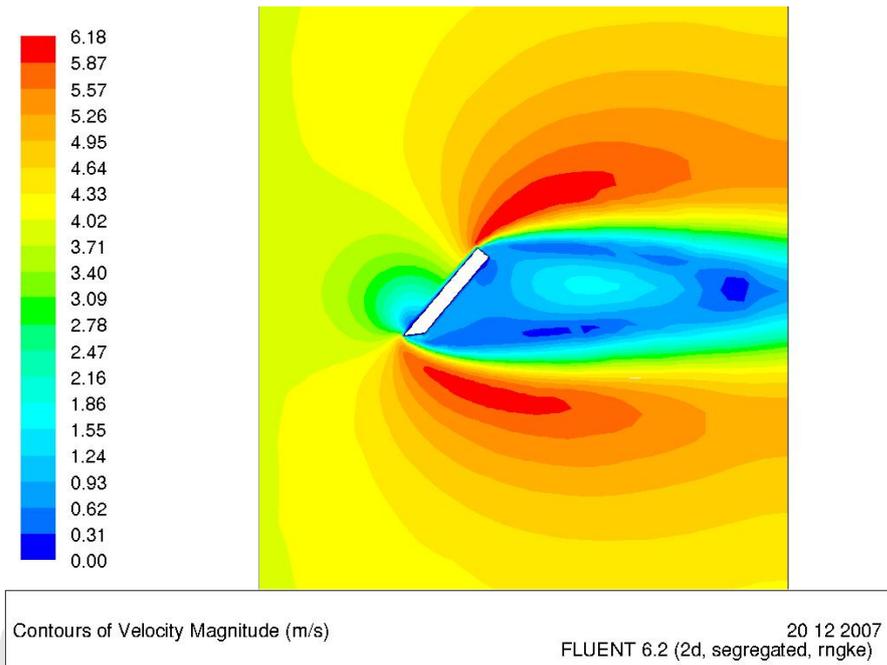
$$Re = \frac{\rho v D_a}{\eta} = \frac{987.4 \cdot 4 \cdot 0.258}{0.00456} = 2.264 \times 10^5$$

Dari perhitungan diatas, diperkirakan bahwa fraksi volume es masih di sekitar 0.2 dan karena bilangan Reynolds-nya lebih besar dari 10^4 maka diduga alirannya turbulen. Dalam pemodelan CFD ini digunakan pendekatan pemodelan turbulent model RNG $k - \varepsilon$.[8]

Tabel III.2. Rangkuman Pemodelan CFD

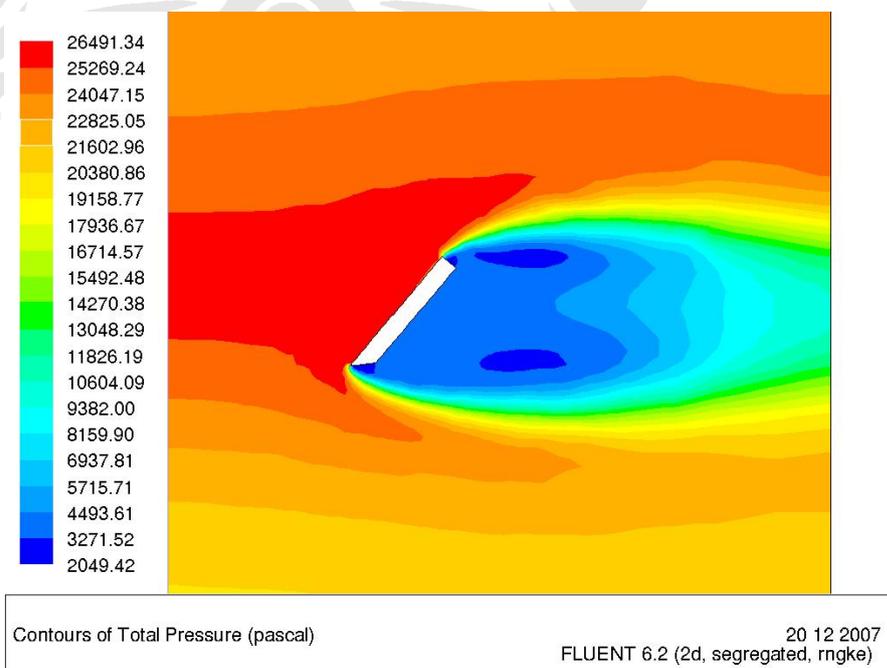
Kategori	Pemodelan CFD
Meshing :	
Jumlah mesh	4748
Jenis mesh	Quad
Kualitas mesh (equiangle skew) terburuk	0.52
Jumlah mesh (equiangle skew) terburuk	1
Kualitas mesh (equiangle skew) terbaik	0 - 0.2
Jumlah mesh (equiangle skew) terbaik	4099
Properties Fluida :	
Viscositas fluida	0.00456 Pa.s
Densitas fluida	987.4 kg/m ³
Kecepatan inlet fluida	4 m/s
Solver	Segregated
Turbulent model	RNG k-epsilon
Discretization scheme :	
Pressure	Standard
Momentum	Power Law
Turbulent kinetic energy	Second order
Turbulent dissipation rate	Second order
Pressure-velocity coupling	Simple
Jumlah Iterasi yang dibutuhkan sampai konvergen	281

Hasil simulasi dan distribusi tekanan pada permukaan *scraper* dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.9. Distribusi kecepatan hasil simulasi CFD

Pada gambar 3.9 diatas dapat dilihat distribusi kecepatan disekitar *scraper* yang memiliki sudut serang 50° , tampak terdapat perbedaan kecepatan yang besar antara daerah depan dan belakang scrape, hal ini akan mengakibatkan terjadinya beda tekanan pada permukaan depan dan belakang *scraper*, sebagaimana yang terlihat pada gambar dibawah



Gambar 3.10. Distribusi tekanan hasil simulasi CFD

Tekanan rata-rata pada permukaan depan *scraper* ialah

$$\bar{P}_{front} = \frac{\int P_{front} ds}{s} = \frac{813.18}{0.032} = 25411.87 \text{ Pa}$$

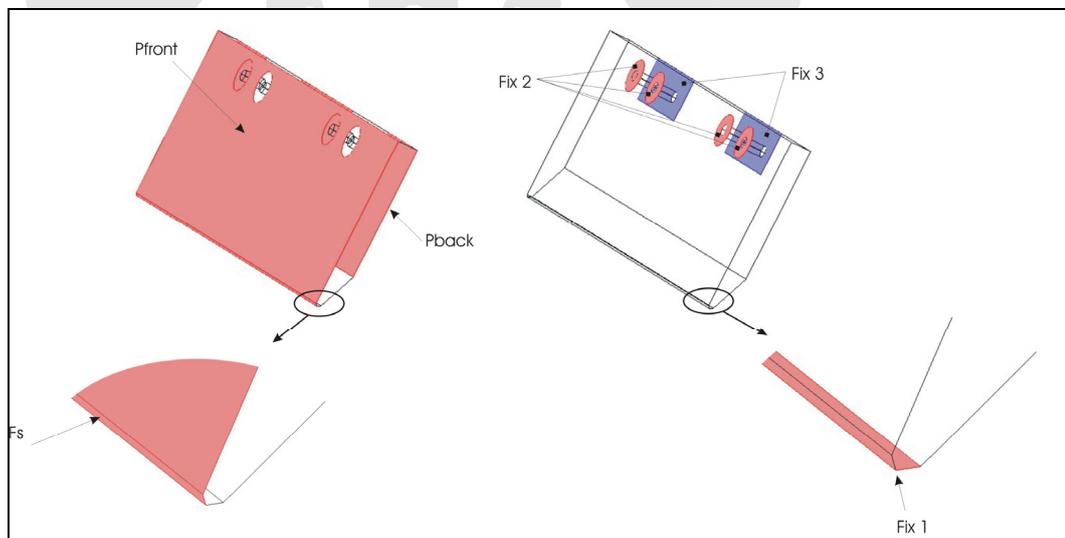
Dan tekanan rata-rata pada permukaan belakang *scraper* ialah

$$\bar{P}_{back} = \frac{\int P_{back} ds}{s} = \frac{109.16}{0.028} = 3898.57 \text{ Pa}$$

Integrasi diatas dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas post-processing yang disediakan FLUENT yaitu menu surface integral.

3.7 ANALISIS MODE KEGAGALAN

Untuk menganalisis mode kegagalan yang dapat terjadi pada *scraper* dan untuk visualisasi distribusi tekanan digunakan software yang menerapkan metode finite element, yaitu software Comsol dengan mode aplikasi *structural mechanics module, solid stress-strain, static analysis*. Model yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



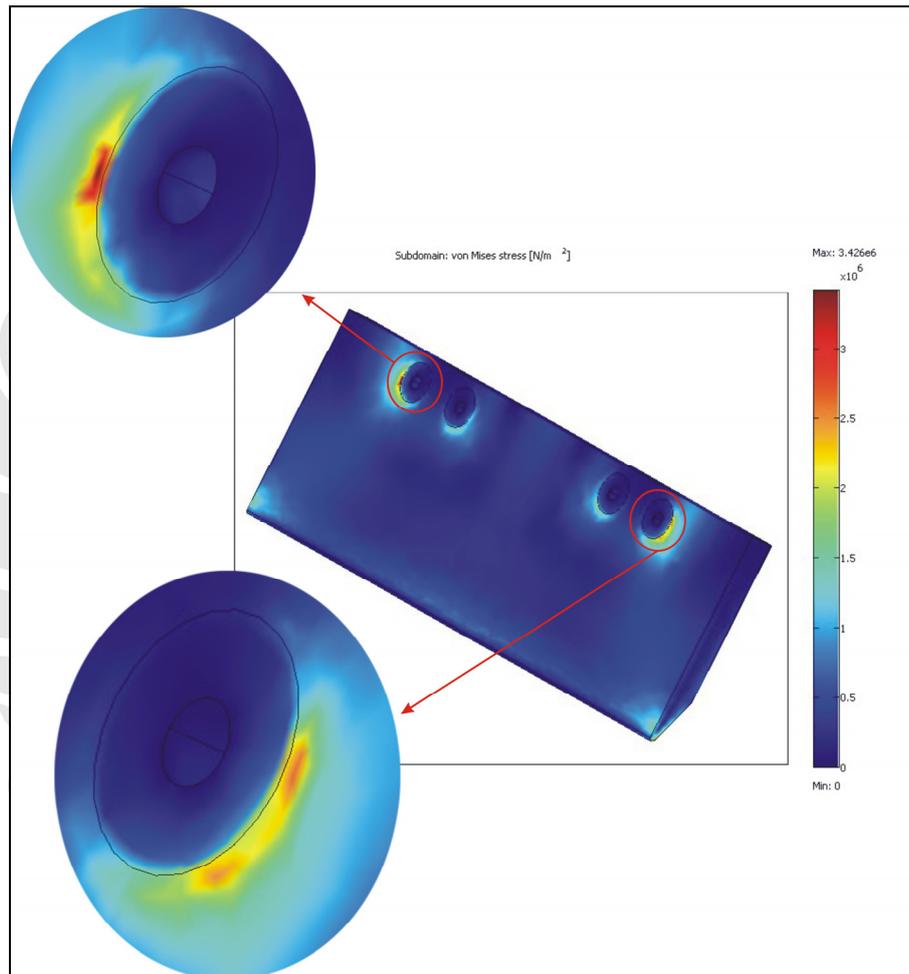
Gambar 3.11. Model 3D dan pendefinisian kondisi batas untuk analisa stress-strain

Gambar 3.11 sebelah kiri merupakan ilustrasi pendefinisian kondisi batas untuk gaya dan tekanan yang bekerja pada *scraper* yang besarnya ditentukan dari perhitungan pada sub-bab diatas. P_{front} dan P_{back} merupakan tekanan yang dikerjakan oleh fluida (*ice slurry*) pada bagian depan dan belakang sedangkan F_s

merupakan gaya akibat aksi menyapu lapisan *mushy*. Pada gambar 3.11. sebelah kanan dapat dilihat pendefinisian kondisi batas untuk *constrain* atau tumpuan tetap yaitu pada permukaan sentuh antara *scraper* dengan dinding (Fix 1), daerah *weasher* baut (Fix 2) dan daerah kontak antara *scraper* dengan engsel (Fix 3).

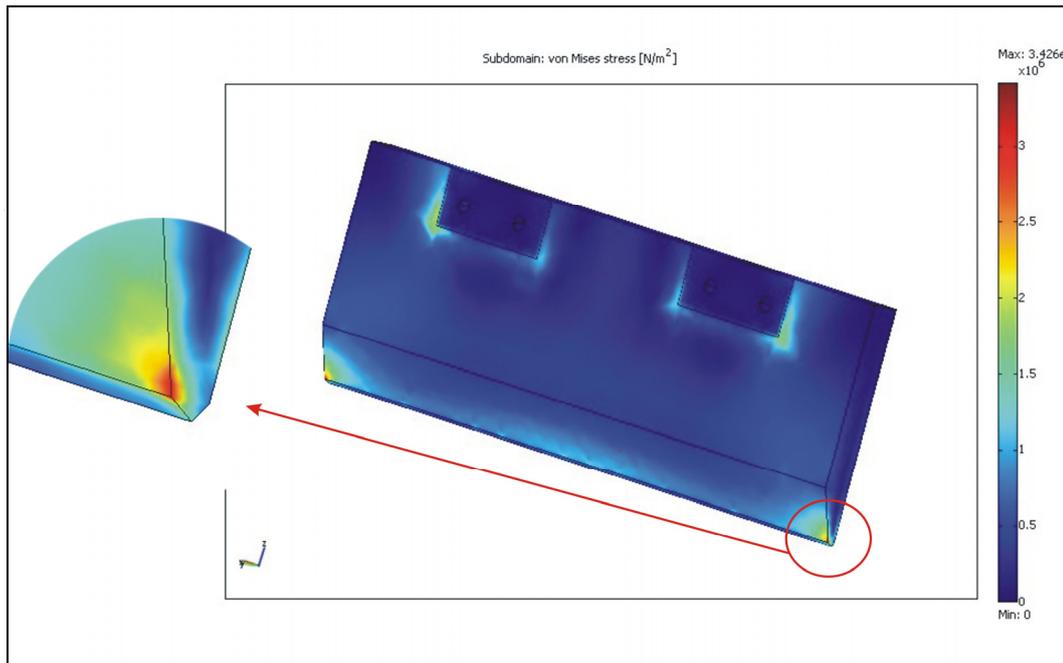
3.7.1 Analisis Stress Pada *Scraper*

Hasil simulasi untuk distribusi tekanan dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.12. Distribusi tekanan pada permukaan depan *scraper*

Mode kegagalan yang mungkin terjadi pada *scraper* ialah timbulnya *crack* pada daerah kritis seperti pada ujung tip *scraper* atau juga mengalami deformasi plastik seperti *bending* atau *buckling*. Untuk analisa kasus yang pertama, hal ini dapat dilakukan dengan melihat distribusi tekanan sepanjang permukaan *scraper*. Pada gambar 3.12. dapat dilihat bahwa daerah yang mengalami tekanan tinggi ialah daerah disekitar washer baut dengan tekanan antara 1.5 sampai 3.426 MPa.

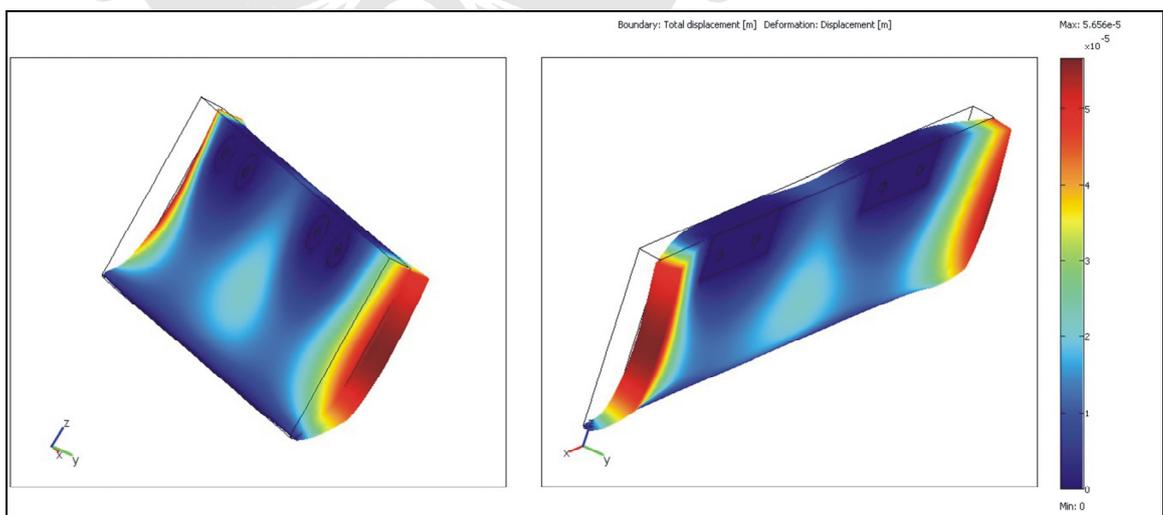


Gambar 3.13. Distribusi tekanan pada permukaan belakang *scraper*

Sedangkan untuk distribusi tekanan pada permukaan belakang *scraper* dapat dilihat pada gambar 3.12. Terlihat bahwa daerah ujung tip mengalami tekanan tertinggi yaitu mencapai 3.426 MPa. Sehingga dapat dihitung *safety factor* untuk desain ini ialah :

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \approx \frac{UTS}{\sigma_{\max}} = \frac{22 \times 10^6}{3.426 \times 10^6} = 6.42$$

3.7.2 Analisis Deformasi Pada *Scraper*



Gambar 3.14. Bentuk deformasi pada *scraper*

Untuk tujuan analisa deformasi plastik, Comsol memiliki fasilitas *post-processing* yang dapat menampilkan nilai deformasi yang terjadi pada *computational domain* sekaligus memvisualisasikannya. Dari gambar 3.13. dapat diketahui nilai deformasi maksimum terjadi pada daerah pinggir *scraper* dengan deformasi maksimum mencapai 0.0566 mm.

Karena nilai safety factor diatas satu dan deformasi sangat kecil, dapat diperkirakan *scraper* tidak mengalami kegagalan dalam bentuk *crack*, *buckling* maupun *bending*.

