

## ANALISA PENGARUH LAJU ALIRAN PARTIKEL PADAT TERHADAP SUDU-SUDU TURBIN REAKSI PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP MENGGUNAKAN CFD

\*Hariri Dwi Kusuma<sup>1</sup>, MSK. Tony SU<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*Email: hriri.dwi.kusuma@gmail.com

### ABSTRACT

*A good quality of steam is essentially needed on power plant system. The main function of this steam is to rotate steam turbine and to couple generator for produce electric. The use of the steam bean is very risky because of the relatively high velocity fluid that comes out of the previous step due to the narrowing of the flow. High velocity may cause huge turbulence which affects the rate of erosion in steam turbine blade. The purpose of this study is to determine the effect of effect of mass flow rate of solid particle of the fluid toward the erosion rate in the blade using CFD. Variations of the mass flow rate of solid particle are 1 kg/s, 1,2 kg/s, 1,4 kg/s, 1,6 kg/s, 1,8 kg/s, and 2 kg/s. Simulation results shows that the increased mass flow rate of solid particle affects to the increasing the erosion rate.*

**Keyword:** CFD, Erosion Steam Turbine, Erosion Rate, Solid Particle

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi merupakan hal mendasar yang dibutuhkan dalam usaha meningkatkan taraf hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatnya taraf hidup serta kuantitas dari masyarakat, maka semakin meningkat juga kebutuhan akan energi. Pada saat ini kebutuhan energi berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan masyarakat serta kemajuan industrialisasi di suatu negara. Dalam hal ini, energi listrik yang menjadi salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat dalam kehidupan, karena energi listrik dapat dengan mudah dan efisien diubah ke bentuk energi yang lainnya.

Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi. Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik.

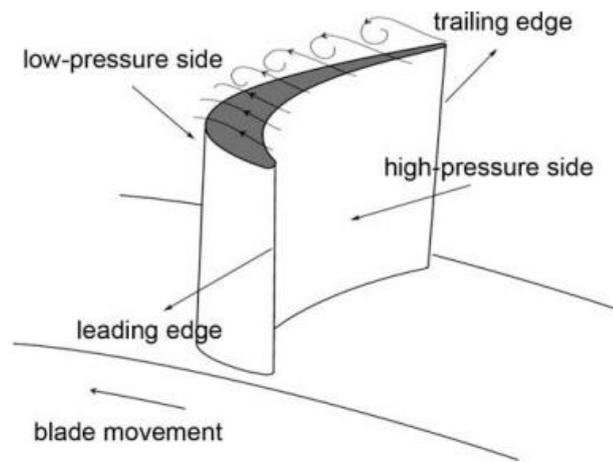
Pada unit instalasi tenaga uap pembangkit, uap keluaran dari turbin tidak langsung dibuang ke udara bebas tetapi dimanfaatkan kembali untuk proses perebusan air di Boiler melalui proses kondensasi, sehingga siklus uap yang bekerja adalah siklus tertutup. Karena, uap seluruhnya digunakan untuk menggerakkan turbin, sehingga dapat menghasilkan daya listrik yang cukup besar, dimana nantinya daya listrik tersebut akan didistribusikan kepada masyarakat melalui PLN selaku Perusahaan Listrik Negara yang melayani kebutuhan listrik masyarakat.

Dari pemaparan di atas jelas bahwa sistem pembangkit tenaga uap adalah suatu hal yang sangat vital dalam proses produksi listrik. Di dalam sistem ini, turbin adalah salah satu alat yang sangat berpengaruh pada kinerja dari keseluruhan sistem. Karena untuk menggerakkan turbin dibutuhkan dorongan dari steam yang diproduksi pada boiler. Maka dari itu kualitas uap yang diproduksi pada boiler haruslah memenuhi standar kerja yang dibutuhkan agar tidak terjadi korosi erosi pada turbin.

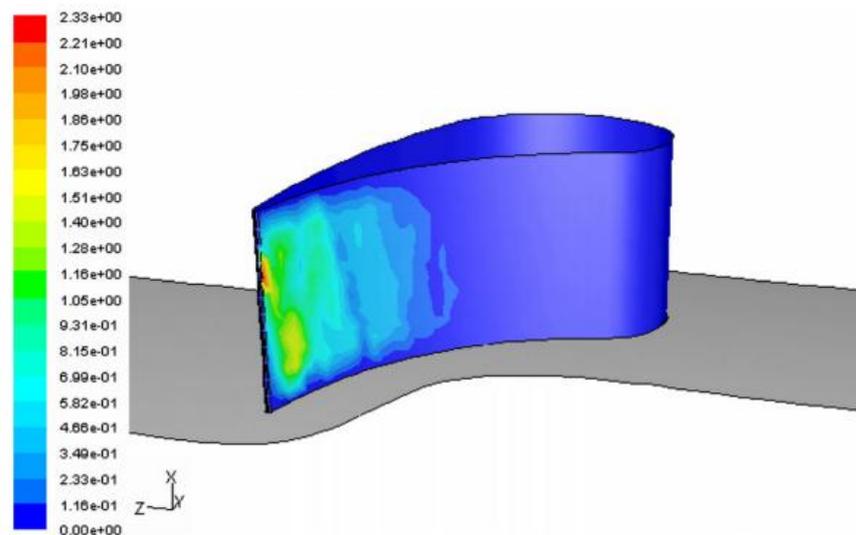
Erosi dari sudu turbin uap telah menjadi salah satu masalah penting dalam sistem pembangkit listrik. Hal itu membuktikan bahwa tabrakan partikel padat telah membawa masalah erosi berat pada sudu turbin uap, menyebabkan tingginya biaya pemeliharaan dan perbaikan serta masalah keamanan dan efisiensi yang rendah pada pembangkit listrik [1]. Banyak faktor yang mengontrol laju erosi, seperti kecepatan partikel padat atau laju aliran massa partikel padat, diameter partikel padat, sudut dampak dan distribusi partikel padat dapat dipelajari pada kondisi aliran yang berbeda dari sistem. Banyak contoh-contoh praktis dapat ditemukan ketika perubahan kondisi aliran telah sangat meningkatkan atau menurunkan erosi. Secara umum di mana arah aliran berubah dengan cepat, erosi biasanya jauh lebih parah daripada di garis lurus, meskipun juga telah dilaporkan bahwa turbulensi lokal karena permukaan yang kasar atau *misalignment* dapat meningkatkan tingkat kerusakan erosi [1].

Studi eksperimental tentang perilaku dinamis dari partikel padat dalam aliran uap geometri yang kompleks memerlukan peralatan khusus dan metodologi untuk mengejar tujuan ini. Juga, proses erosi merupakan masalah yang kompleks untuk mendapatkan rumus matematika untuk menjelaskan beberapa faktor yang mengontrol laju erosi dari sudu. Penelitian ini menyajikan studi numerik dari proses erosi, menerapkan Computational Fluid Dynamics (CFD) diawali dengan desain sudu turbin uap secara manual mengacu pada jurnal, Kemudian dilanjutkan dengan komputasi

numerik aliran fluida yang melewati sudu turbin reaksi secara dua dimensi dengan mempertimbangkan parameter yang berbeda seperti laju aliran massa partikel dan kondisi kualitas aliran uap, dalam turbin uap tingkat tekanan rendah (LP Turbin) dari 200 MW untuk menentukan tingkat erosi. Identifikasi profil sudu dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Profil sudu, identifikasi posisi dari *leading edges* dan tekanan rendah (*suction*) dan sisi tekanan tinggi [2].



**Gambar 2.** Penelitian Alfonso Campos-Amezcuca [1].

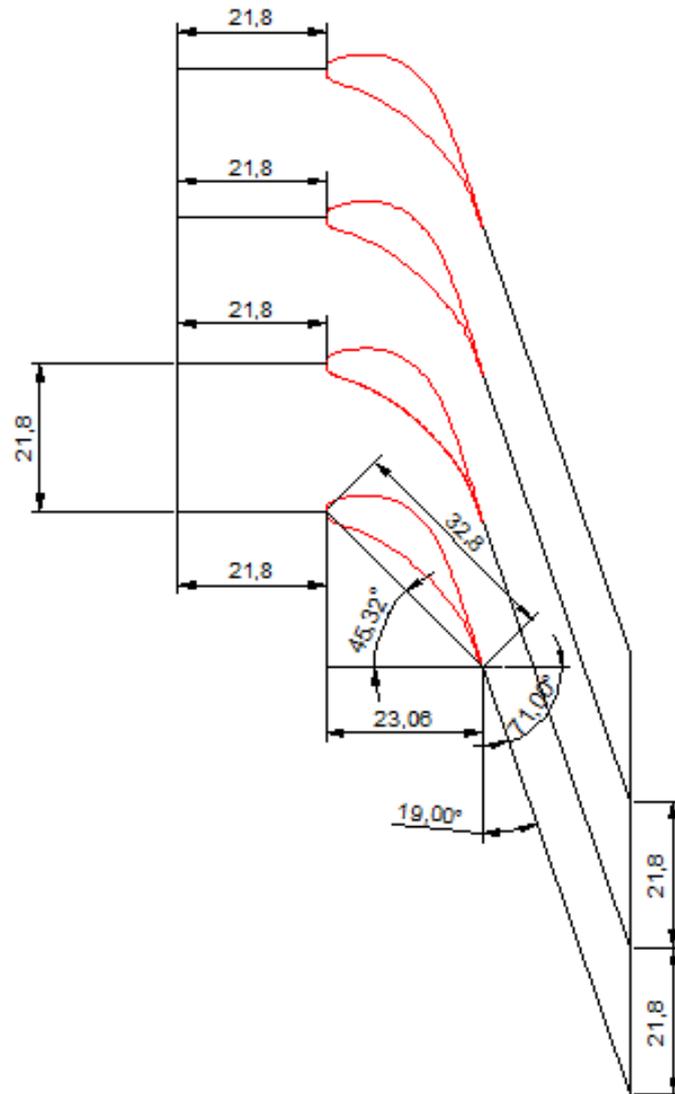
Penelitian mengenai laju erosi di sudu turbin pernah dilakukan oleh Alfonso Campos-Amezcuca [1]. Akan tetapi, model benda (geometri) yang digunakan hanya terdiri dari 1 sudu yang terlihat pada Gambar 2. Selain itu, simulasi yang dilakukan oleh Alfonso Campos-Amezcuca menggunakan bantuan perangkat lunak CFD. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi laju aliran partikel padat pada *steam* terhadap laju erosi.

## 2. PEMODELAN DAN PROSES SIMULASI

Bab ini berisi tentang data-data penting penelitian, peralatan yang digunakan dan lokasi penelitian. Metode penelitian yang digunakan dijelaskan secara singkat (dapat dibuat dalam bentuk diagram alir). Metode baru atau metode yang dimodifikasi tersebut harap dijelaskan secara rinci.

### 2.1 Model

Model benda yang digunakan dalam simulasi ini disesuaikan mendekati keadaan sesungguhnya di lapangan yang merupakan skema sudu reaksi turbin uap. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa sudu reaksi turbin uap dimodelkan dalam bentuk dua dimensi. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses simulasi pada FLUENT sekaligus menyederhanakan pemodelan di GAMBIT. Penyajian model dalam bentuk 2-D sudah cukup mewakili untuk analisa laju erosi di sudu turbin reaksi.



**Gambar 3.** Sudu Turbin Reaksi *casecade*.

## 2.2 Langkah Pengerjaan

### a. *Preprocessing*

Tahapan ini merupakan tahapan awal dalam melakukan proses analisa dengan menggunakan CFD. Dalam tahapan ini dilakukan dua hal, yaitu membangun permodelan benda dengan menggunakan software CAD, pembuatan mesh yang sesuai, kemudian menentukan kondisi batas. Dari sini dapat dihasilkan suatu domain komputasi yang selanjutnya diekspor ke FLUENT 6.3.26. Pada tugas akhir ini pembuatan model simulasi pipa injektor uap menggunakan GAMBIT 2.3.16 (Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit) sebagai preprocessing.

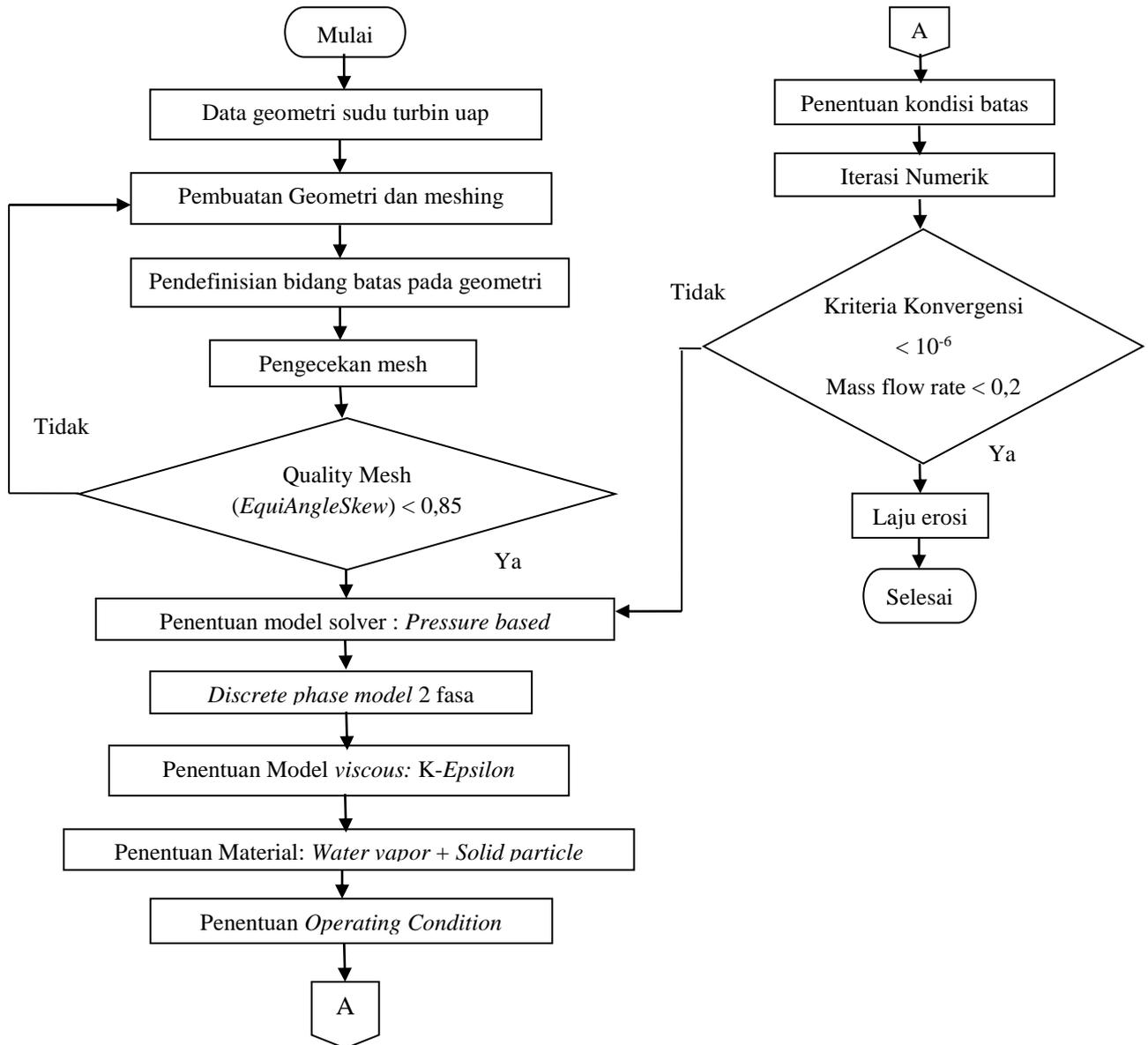
### b. *Solving*

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan iterasi atau perhitungan terhadap kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahapan preprocessing. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program.

### c. *Postprocessing*

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa data, gambar, grafik ataupun animasi.

Untuk memperjelas sistematika tahapan-tahapan dalam upaya pencapaian hasil yang diharapkan dari penelitian ini, maka disusun diagram alir umum seperti digambarkan pada Gambar 4.



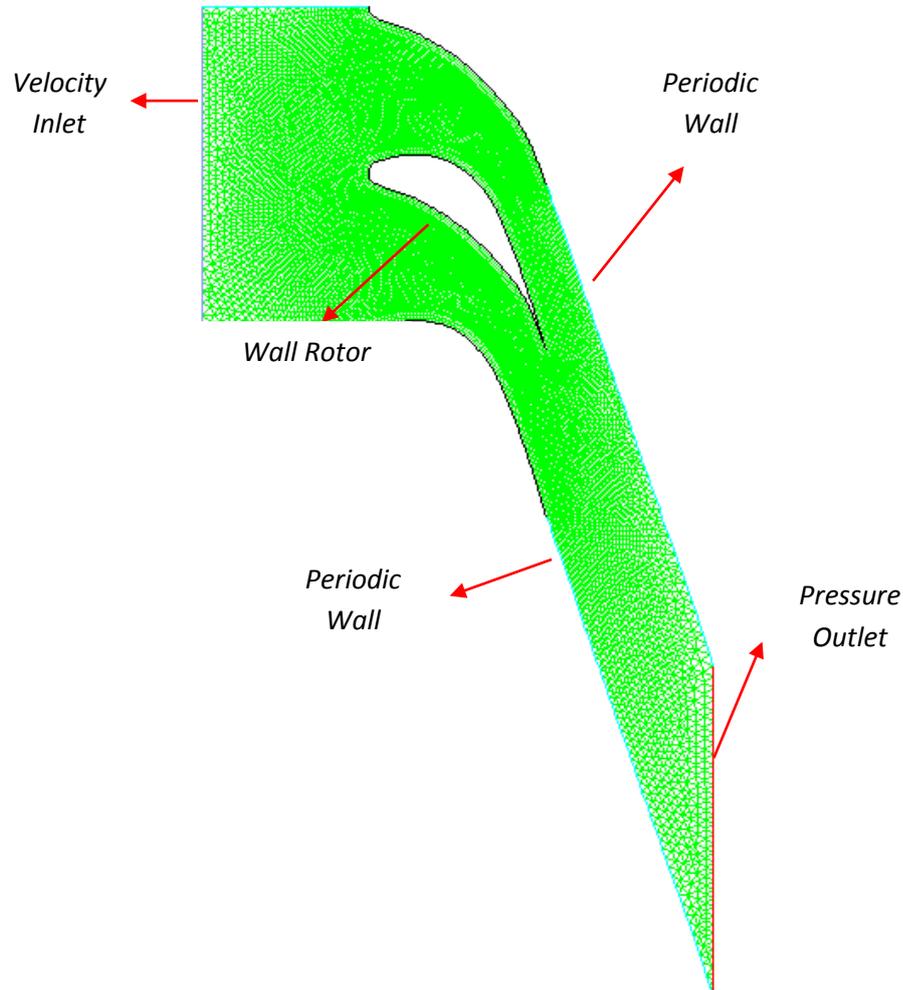
**Gambar 4.** Diagram alir prosedur simulasi.

Dalam penelitian ini, memberikan beberapa batasan masalah yang diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimal, diantaranya

- Jenis aliran fluida adalah aliran-dalam dan bersifat inkompresibel.
- Fluida yang digunakan adalah *saturated steam* dengan  $SQ = 0,7 - 0,95$ .
- Fluida *steam* merupakan model aliran homogen.
- Solid* yang digunakan adalah bijih besi karat dengan densitas sebesar  $2900 \text{ kg/m}^3$ .
- Material *sudu* adalah *alloy steel* berdensitas  $8030 \text{ kg/m}^3$ .
- Kecepatan *steam* adalah  $241,98 \text{ m/s}$ .
- Kecepatan bijih besi karat sama dengan kecepatan *steam*.
- Laju aliran bijih besi karat bervariasi yaitu  $1 \text{ kg/s}$ ,  $1,2 \text{ kg/s}$ ,  $1,4 \text{ kg/s}$ ,  $1,6 \text{ kg/s}$ ,  $1,8 \text{ kg/s}$ , dan  $2 \text{ kg/s}$ .
- Analisa hanya dilakukan pada sudu reaksi dan membahas tentang laju erosi.
- Lingkungan dianggap isolasi sempurna dan beroperasi secara adiabatik.
- Simulasi dilakukan pada jenis aliran *steady*.
- Desain turbin berpedoman pada jurnal.
- Erosi terjadi pada sudu turbin reaksi (*power plant system*).

### 2.3 Pembuatan Model dan Penentuan Kondisi Batas

Sebuah sudu mempunyai dimensi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Geometrinya dimodelkan dalam bentuk 2D untuk keefektifan dan efisien. Fluida steam dan sand masuk dari inlet secara bersamaan dengan kecepatan yang sama. Kualitas uap dan laju aliran massa partikel padat divariasikan. Adapun batas-batas daerah asalnya (domain) dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



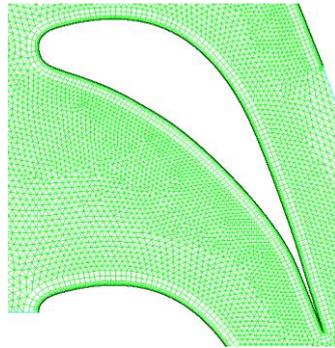
Gambar 5. Domain komputasi.

Tabel 1. Karakteristik nilai dari Sudu Turbin Reaksi *casecade*.

Geometri	Dimensi
<i>Blade axial chord</i>	23,06 mm
<i>Blade pitch</i>	21,8 mm
<i>Stagger angle</i>	45,32 mm
<i>Inlet flow angle</i>	0,0 <sup>0</sup>
<i>Outlet flow angle</i>	71,0 <sup>0</sup>
<i>Solidity</i>	1,5
<i>Span or blade height</i>	26 mm
<i>Aspect Ratio</i>	1,1
<i>Throat</i>	7,1 mm

### 2.4 Penggenerasian Mesh

Berhubung daerah yang paling diinginkan adalah daerah sudu bagian dinding maka dibuat mesh dengan ukuran lebih kecil pada daerah dekat sudu dibandingkan dengan bagian lainnya. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih teliti pada permukaan (dinding) sudu. Bentuk mesh tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan jenis meshing dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 6.** Grid terstruktur pada domain.

**Tabel 2.** Jenis Meshing yang digunakan pada Geometri

Jenis Meshing	Mesh Faces
<i>Elements</i>	<i>Tri</i>
<i>Type</i>	<i>Pave</i>
Jumlah <i>elements</i>	18540
Kualitas <i>mesh</i>	0,81
<i>Interval count</i>	Wall = 100 inlet = 35 Outlet = 35 Periodic Wall = 92

## 2.5 Solver dan Model Turbulensi

Proses simulasi menggunakan metode solusi Pressure Based 2D dan model turbulensi yang digunakan adalah model k-epsilon standard wall function dan menggunakan metode Discrete Phase Model (DPM) dalam pada proses simulasi.

## 2.6 Pendefinisian Material

Fluida merupakan saturated steam dengan properti fluida seperti terlihat pada Tabel 3. Sedangkan solid yang digunakan adalah bijih besi (steel) dengan sifat seperti terlihat pada Tabel 4.

**Tabel 3.** Spesifikasi Fluida.

Kualitas Uap	Densitas rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas rata-rata (kg/ms)
0,7	272,18	5,88E-05
0,75	227,49	5,14E-05
0,8	182,81	4,41E-05
0,85	138,13	3,67E-05
0,9	93,45	2,94E-05
0,95	48,77	2,20E-05

**Tabel 4.** Spesifikasi bijih besi.

Properties	Nilai
Densitas	2900 kg/m <sup>3</sup>
Diameter	50 µm
Kecepatan	241,98 m/s
Laju Aliran	2 kg/s

## 2.7 Proses Iterasi

Adapun kontrol solusi yang digunakan pada komputasi ini dapat dilihat pada Tabel 5 [3].

**Tabel 5.** Kontrol Solusi.

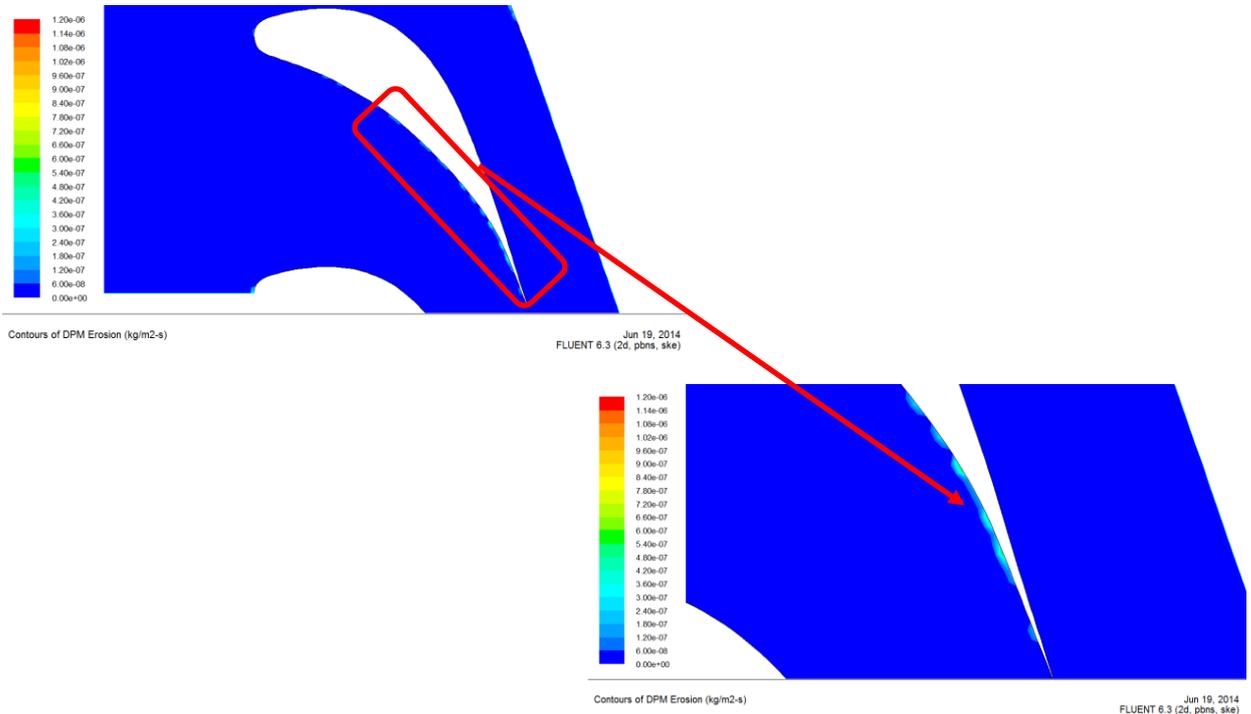
Setup CFD FLUENT	Value
<i>Pressure</i>	<i>Standard</i>
<i>Momentum</i>	<i>Second order upwind</i>
<i>Turbulent kinetic energy</i>	<i>Second order upwind</i>
<i>Turbulent dissipation rate</i>	<i>Second order upwind</i>
<i>Pressure</i>	0,3
<i>Turbulent kinetic energy</i>	0,8
<i>Turbulent dissipation rate</i>	0,8
<i>Momentum</i>	0,7
<i>Discrete Phase Sources</i>	0,5
Kriteria konvergensi	1e-04

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

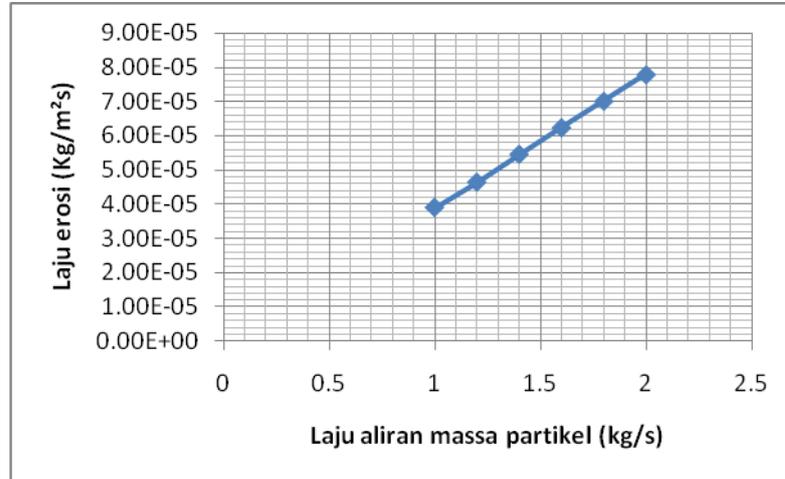
Hasil simulasi kasus ini meneliti pengaruh laju aliran partikel padat terhadap laju erosi pada sudu. Laju aliran massa partikel padat juga divariasikan yaitu, 1 kg/s, 1,2 kg/s, 1,4 kg/s, 1,6 kg/s, 1,8 kg/s dan 2 kg/s. Hasil ini nantinya akan diverifikasi dengan jurnal *Erosion-fatigue of steam turbine blades*. Sedangkan hasil simulasi yang berupa *trend*

data grafik hubungan laju aliran partikel padat dan laju erosi akan dibandingkan dengan penelitian Alfonso Campos-Amezcuca [1].

### 3.1 Hasil Simulasi



Gambar 7. Erosi terjadi pada *pressure surface* sudu.

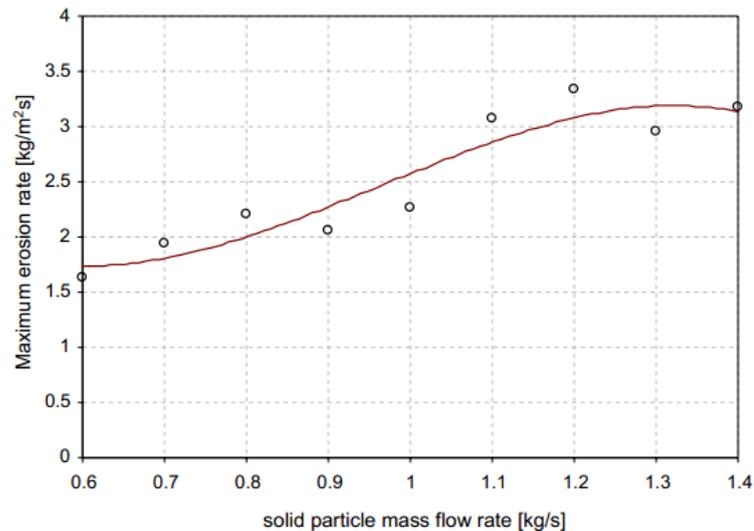


Gambar 8. Grafik hubungan antara laju aliran massa partikel padat terhadap laju erosi.

Gambar 7 menunjukkan kontur laju erosi yang dihasilkan dari variasi laju aliran massa partikel padat pada *steam* yang diterapkan pada kasus kedua. Pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa erosi terjadi pada *pressure surface* sudu atau sisi tekanan tinggi bagian dari sudu yang sama dengan kondisi pada kasus pertama. Gambar 8 mengilustrasikan hubungan antara laju aliran massa partikel padat pada *steam* terhadap laju erosi berbanding lurus. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju aliran massa partikel padat pada *steam* maka laju erosi yang dihasilkan semakin besar. Dapat dilihat bahwa laju erosi pada grafik dimana laju aliran massa partikel padat tertinggi 2 kg/s merupakan laju erosi tertinggi.

Saat laju aliran massa partikel padat cukup tinggi, laju aliran massa partikel akan mendekati kecepatan fluida. Erosi terburuk terjadi saat laju aliran massa partikel padat fluida berada pada nilai tertinggi yaitu 2 kg/s. Peningkatan kecil pada laju aliran massa partikel padat dapat mengakibatkan peningkatan laju erosi yang cukup besar.

Grafik pada Gambar 8 memiliki *trend* grafik yang sama dengan penelitian Alfonso Campos-Amezcuca [1] seperti terlihat pada Gambar 9 di bawah ini.



**Gambar 9.** Grafik hubungan antara *solid particle mass flow rate* terhadap laju erosi maksimum pada penelitian Alfonso Campos-Amezcuca [1].

Gambar 9 memperlihatkan *trend* grafik yang sama dengan kasus kedua. Akan tetapi, partikel padat yang digunakan pada fluida injeksi berbeda. Pada grafik dalam Gambar 9 di atas merupakan hasil prediksi menggunakan CFD.

Hasil simulasi kasus kedua ditampilkan dalam bentuk tabel seperti yang terlihat pada tabel 8. Tabel 6 di bawah ini berisi laju erosi yang dihasilkan dari variasi Laju aliran massa partikel pada *steam*.

**Tabel 6.** Hasil simulasi kedua.

Laju aliran massa partikel Kg/s	Laju erosi	
	Kg/m <sup>2</sup> s	mm/year
1	3,90E-05	153,06
1,2	4,64E-05	182,10
1,4	5,46E-05	214,28
1,6	6,24E-05	244,90
1,8	7,02E-05	275,52
2	7,79E-05	306,13

Dari kasus di atas semuanya menunjukkan bahwa daerah tererosi berada pada *pressure surface* sudu atau sisi permukaan tekanan tinggi dari sudu. Hal tersebut sesuai dengan hasil simulasi pada penelitian Alfonso Campos-Amezcuca [1] seperti terlihat pada Gambar 2.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dan dibahas maka dapat disimpulkan bahwa

- Peningkatan laju aliran partikel padat pada *steam* berpengaruh pada peningkatan laju erosi.
- Pada kecepatan steam yang sama 241,98 m/s dengan laju aliran partikel yang berbeda yaitu 1 kg/s, 1,2 kg/s, 1,4 kg/s, 1,6 kg/s, 1,8 kg/s, dan 2 kg/s diperoleh laju erosi masing-masing sebesar 153,06 mm/year, 182,10 mm/year, 214,28 mm/year, 244,9 mm/year, 275,52 mm/year dan 306,13 mm/year.

#### 5. REFERENSI

- Amezcuca, Alfonso C., 2007, *Numerical investigation of the solid particle erosion rate in a steam turbine nozzle*, *Thermal Engineering*, 27, 2394–2403.
- Azevedo, C.R.F., Sinatora, A., 2009, *Erosion-fatigue of steam turbine blades: Engineering Failure Analysis*, *Material Engineering*, 10.1016.
- FLUENT V6.2.16 User's Guide, Fluent Inc., Canterra Resource Park, 10 Covendish Court, Lebanon NH03766, EUA, 2003.