

Evaluasi desain sudu turbin gas model S-20 tipe aksial menggunakan CFD

Fatkur Rachmanu

Prodi Teknik Mesin Politeknik Enjinereng Indorama
Jl. Kembangkuning, Jatiluhur, Purwakarta
Email: fatkur.rachman@gmail.com

Abstract

In the design of a gas turbine as a power plant, the turbine manufacturer always makes a redesign for improvement from the previous design (continuous improvement). This study discusses the redesign of a gas turbine for S-20 model power plant. The use of software that has been used to get more tangible from the basic theory of a gas turbine blade in this case is the average speed triangle. Can be seen a change in the flow of gas that enters the rotor and stator to be absorbed by the kinetic energy of the gas that hit the blade to produce a larger number of shaft paths. The results of this design produce for enthalpy in high pressure turbine is 1,211,129 J/kg, with mechanical power is 2,747 Watt. Produce view of shape is ellipse on leading edge and trailing edge and choice of twist turbine blade stating from hub, meridian and tip. In this research flow of gas depend on rotor turbine blade position and rotating speed of rotor. Besides that velocity of gas, gas mass, high of stator and rotor blade.

Keywords: Blade, turbine, gas, Saturn, Computational Fluid Dynamic (CFD).

Abstrak

Dalam desain suatu turbin gas sebagai pembangkit listrik, di perusahaan pembuat turbin selalu melakukan desain ulang untuk perbaikan dari desain sebelumnya (*continous improvement*). Penelitian ini membahas desain ulang turbin gas untuk pembangkit listrik model S-20. Penggunaan perangkat lunak sudah digunakan untuk pendekatan yang lebih nyata dari teori dasar sudu turbin gas, untuk suatu segitiga kecepatan secara rata-rata. Dapat terlihat suatu perubahan aliran gas yang masuk pada sudu diam dan bergerak untuk diserap energi kinetik gas yang menabrak sudu untuk menghasilkan putaran poros yang sebesar-besarnya. Dalam desain ini menghasilkan untuk turbin tekanan tinggi (HPT) entalpi sebesar 1.211.129 J/kg, dengan daya mekanik sebesar 2.747 Watt. Menghasilkan bentuk sudu elips pada *leading edge* dan *trailing edge* serta pemilihan sudu tipe berpilin (*twist*) mulai dari *hub*, *meridian* dan *tip*. Pada penelitian ini aliran gas bergantung pada posisi sudu dan kecepatan putar dari sudu bergerak. Selain itu kecepatan aliran gas, massa gas, tinggi sudu diam dan bergerak.

Kata kunci: sudu, turbin, gas, Saturn, Computational Fluid Dynamic (CFD).

Pendahuluan

Turbin aksial adalah suatu konfigurasi turbin yang paling umum untuk pembangkit tenaga listrik dan sistem pendorong/propulsi. Turbin aksial populer dipakai karena keserbagunaannya antara kapasitas daya dan berbagai kondisi operasi. Kapasitas daya turbin aksial dapat bervariasi dari puluhan kW untuk sistem tenaga. Turbin aksial adalah mesin putar yang mengubah energi dari aliran fluida

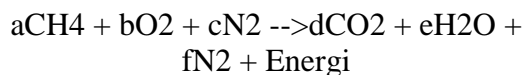
menjadi kerja, turbin terdiri dari satu atau lebih tingkat secara seri dan setiap tingkat terdiri dari satu cincin sudu tetap (*cascade stator blades*) yang mempercepat aliran dan satu ring sudu jalan (*cascade rotor blades*) dimana membelokkan aliran, mengubah energi fluida/ gas menjadi kerja sebagai akibat dari perubahan arah dan dari momentum sudut serta menghasilkan daya luaran turbin. Model S-20 adalah diambil dari permodelan turbin gas *Saturn-20* tetapi

tidak sama persis, yang mana merupakan tipe turbin gas aksial. Karena desain sudu turbin gas banyak dilakukan di pabrikan luar negeri maka dalam artikel ini penulis mencoba untuk melakukan desain ulang pada turbin gas model S-20.

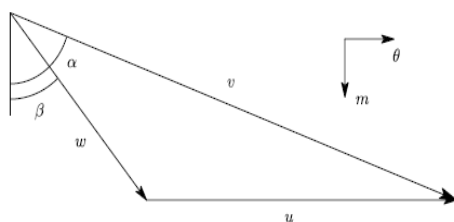
Desain sudu turbin gas pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan telah menggunakan perangkat lunak Fluent 4.0 yang menghasilkan variasi tekanan dan densitas fluida gas [1]. Selain itu penelitian desain turbin gas telah dilakukan dengan pengoptimalan desain turbin gas [2].

Tinjauan Pustaka

Di dalam ruang bakar fluida terbakar dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut sehingga menghasilkan gas [3]:



Dimana a hingga f adalah bilangan molekul. Maka unsur kimia yang paling besar dan masuk turbin tekanan tinggi (HPT) diambil serta diasumsi adalah CO₂. Secara umum desain ulang pada turbin gas menggunakan prinsip segitiga kecepatan pada kecepatan aksial yang masuk sudu sehingga bahan bakar masuk pada ruang bakar dan bersama dari udara bertekanan menembakkan ke sudu jalan (*rotor*) secara arah radial roda turbin dengan tumbukan momentum.



Gambar 1. Segitiga Kecepatan [2]

Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan studi literatur dan desain ulang serta perhitungan menggunakan bantuan komputer CAD dan CAE yaitu *software-X* kemudian disimulasikan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*

(CFD) dengan paket *Cosmos* yang berada pada *Solidworks (Flow Simulation)*. Dengan metode pendekatan aliran turbulen bersifat *k-ε* (kinetik dan disipasi), oleh *Lauder-Spalding* dimana turbulen fluida tanpa adanya gesekan terhadap permukaan bidang yang dilalui gas tersebut juga dimana gradien tekanan tidak diperhitungkan [4].

Adapun data masukan pada sudu tingkat tekanan tinggi (HPT) adalah sesuai Tabel 1 [5][6].

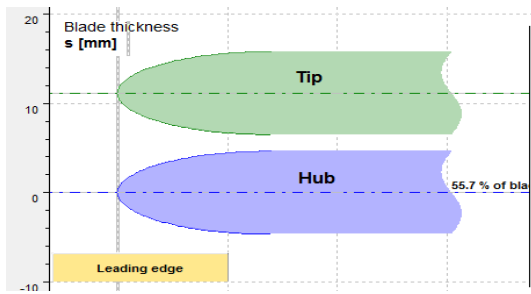
Tabel 1. Tabel data masukan HPT

No.	Parameter	Nilai
1	Sudu HPT	r2 = 0,46 mm r1 = 0,40 mm
2	Putaran poros	15000 rpm
3	Tekanan masuk	7,54 bar
4	Aliran massa	5,8 kg/detik
5	Temperatur fluida/gas	1161 K
6	Jenis gas	CO ₂
7	Kecepatan gas masuk turbin	3,8 m/detik (asumsi)

Dari data tersebut dimasukkan pada perangkat lunak (*software-X*) yang menghasilkan beberapa asumsi untuk bentuk sudu.

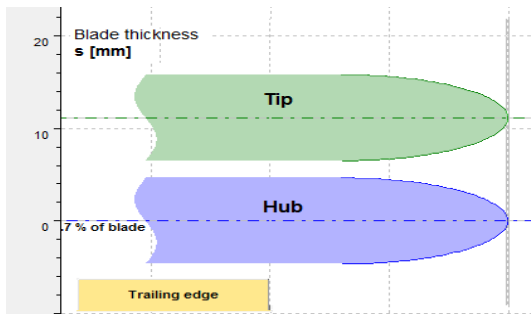
Hasil dan Pembahasan

Pada *software-X* menggunakan perhitungan pembuatan bentuk sudu dari nilai-nilai yang dimasukkan dari Tabel 1, serta menggunakan profil sudu dalam hal ini bentuk sudu elips dipilih, termasuk pengambilan otomatis sudut serang (*angle of attack*) untuk memperkirakan *lift* dan *drag*. Sudut alfa dan beta yang dapat dipilih secara otomatis atau dimasukan nilainya. Dalam hal ini dipilih secara otomatis oleh komputer.



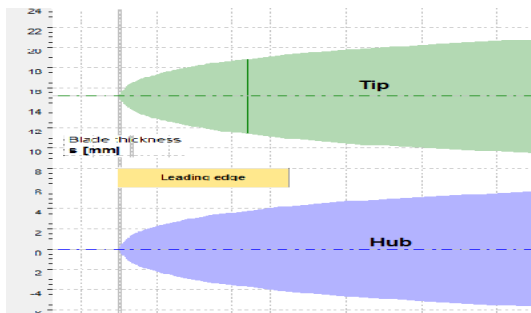
Gambar 3. Profil elips awal sudu bergerak

Gambar 3, memilih profil bentuk elips untuk sudu bergerak (*rotor*) pada darah awal sudu (*leading edge*). Untuk bagian akhir dibuat profil bentuk elips untuk sudu bergerak pada darah akhir sudu (*trailing edge*)



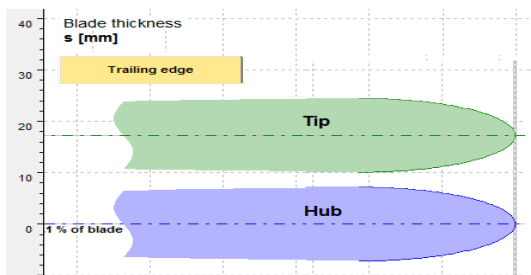
Gambar 4. Profil elips akhir sudu bergerak

Untuk sudu tetap (*stator*) menggunakan ujung elips sesuai Gambar 5, untuk bentuk di awal sudu tetap.



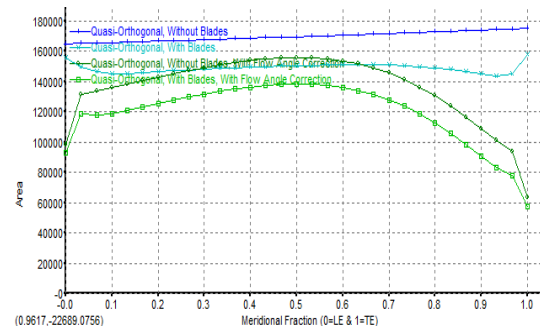
Gambar 5. Profil elips awal sudu tetap

Dan ujung elips di akhir sudu sesuai Gambar 6.



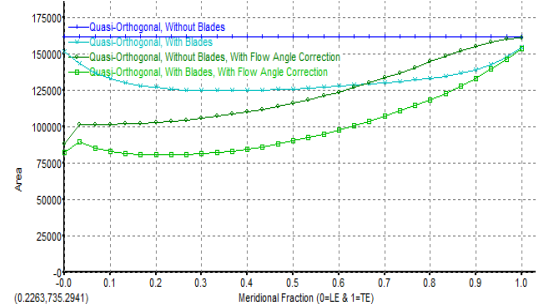
Gambar 6. Profil elips akhir sudu tetap

Dari perhitungan *software-X* maka dapat menghasilkan *quasi orthogonal* pada rotor sesuai Gambar 7.



Gambar 7. *Quasi orthogonal rotor*

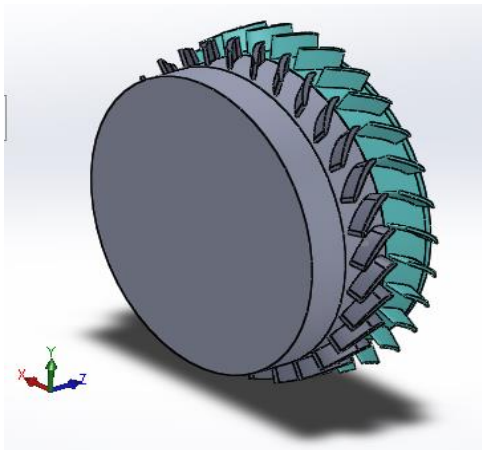
Quasi orthogonal rotor adalah grafik perbandingan pada sudu bergerak antara bidang *meridional fraction* pada ujung awal sudu (*LE*) dan ujung akhir sudu (*TE*) terhadap area luasan sudu yang terkena fluida gas. Dari perhitungan *software-X* maka dihasilkan *quasi orthogonal* pada *stator* sesuai Gambar 8.



Gambar 8. *Quasi orthogonal stator*

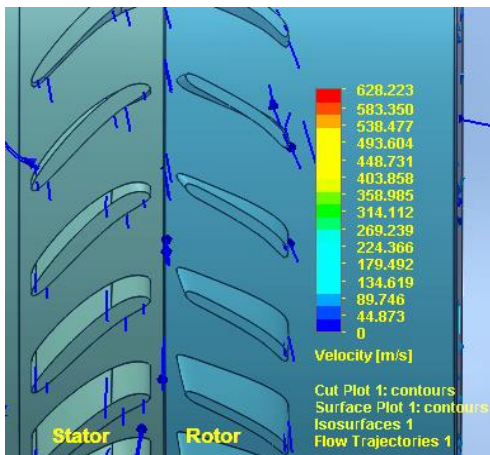
Quasi orthogonal stator adalah grafik perbandingan pada sudu diam antara bidang *meridional fraction* pada ujung awal sudu (*LE*) dan ujung akhir sudu (*TE*) terhadap area luasan sudu yang terkena fluida gas.

Setelah melalui *software-X* maka menghasilkan gambar 3D yang dimigrasi menjadi gambar 3D dalam perangkat lunak *Solidworks* sesuai Gambar 9, berupa satu pasangan sudu diam (*stator*) dan sudu bergerak (*rotor*).



Gambar 9. Sudu *Stator-Rotor*

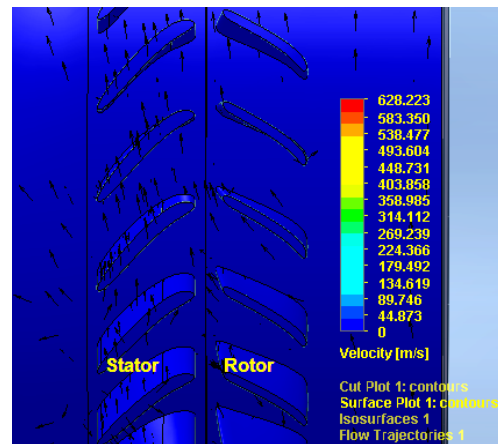
Kemudian dengan menu dinamika fluida dengan komputasi / *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dari *Solidworks* untuk pilihan menu *Flow simulation*, dengan pendekatan jenis aliran turbulen menggunakan metode pendekatan turbulen model ($k-\epsilon$) dan putaran *rotor* sebesar 15.000 rpm merupakan putaran maksimum turbin tingkat tinggi (*HPT*) satu pasangan roda diam dan bergerak setelah gas keluar dari ruang bakar.



Gambar 10. Kecepatan Aliran CO_2 Pada Putaran $n = 15.000$ rpm

Dengan kecepatan aliran gas CO_2 3,8 m/detik . Maka menghasilkan Gambar 10, dimana kecepatan aliran gas CO_2 sekitar 0 m/det hingga 3,8 m/detik.

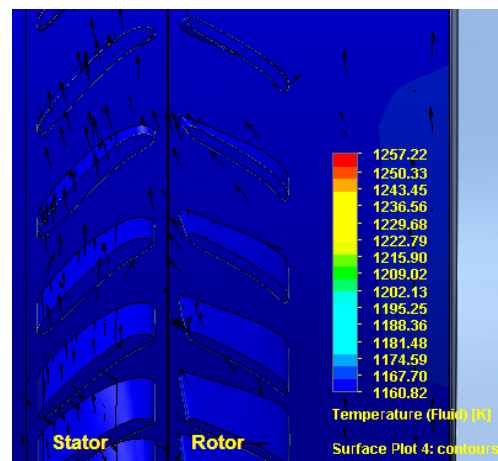
Adapun arah aliran gas mengikuti arah putaran *rotor* searah jarum jam dilihat dari ujung keluar turbin gas (*CW viewed from gas turbine outlet edge*), serta bersifat turbulen sesuai Gambar 11.



Gambar 11. Arah gas CO_2 posisi *surface plot*.

Kecepatan berkisar 0 m/detik hingga 3,8 m/detik dan di beberapa kejadian akan melebihi dan dapat mencapai 5 m/detik disebabkan karena putaran roda jalan sudu bergerak (*rotor disc blade*) yang berputar 15.000 rpm. Terlihat bahwa gas hasil pembakaran masuk pada *stator* dan rotor untuk memutar rotor dengan arah searah jarum jam (dilihat dari bagian ke luar gas).

Pada Gambar 12, temperatur CO_2 sebesar 1160 K hingga 1161 K akan terjadi penurunan suhu saat masuk *stator* dan keluar *rotor*.

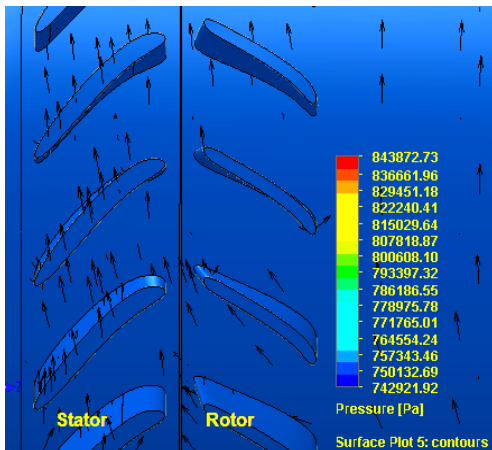


Gambar 12. Temperatur CO_2

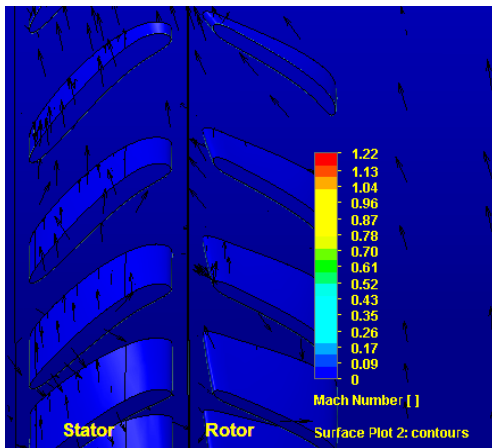
Untuk selanjutnya gas CO_2 sesuai Gambar 13, tekanan fluida gas CO_2 sebesar 750132 Pa hingga 754000 Pa sesuai tekanan gas masuk *stator* HPT.

Untuk kecepatan suara dari hasil perhitungan CFD menghasilkan Gambar 14, dimana bilangan *Mach* sebesar 0 hingga 0,09 tidak bersatuan. Pada perangkat lunak

CFD ini dapat menunjukkan nilai torsi putar yang dihasilkan oleh *rotor*.



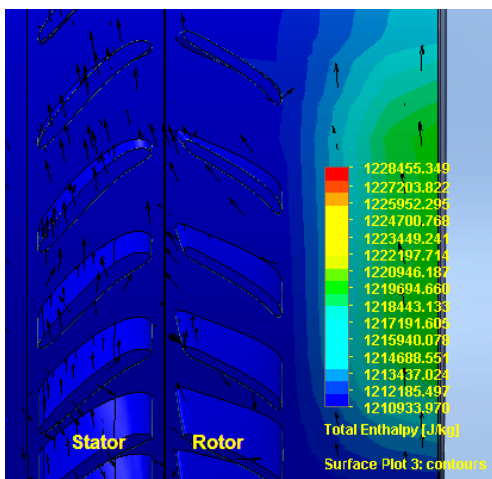
Gambar 13. Tekanan CO₂



Gambar 14. Bilangan Mach

Disamping itu hasil *CFD* ini menghasilkan Torsi = 1.75 Nm. Sehingga
 Daya = $1,75 \times 2 \times 3,14 \times (15.000/60)$
 = 2.747,5 Watt

Untuk entalpi yang terjadi adalah 1.210.933 J/kg ditunjukkan pada Gambar 15.



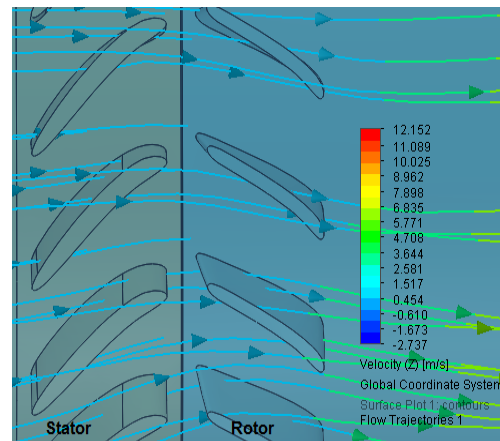
Gambar 15. Total Entalpi

Turbin gas saat berputar pada putaran normal sesuai standard API 616 dari grafik dapat diambil di bawah sekitar 5-10% dari putaran maksimum.

Berikut putaran kontinu normal dan posisi sudu *stator* dan *rotor*.

Kasus 1

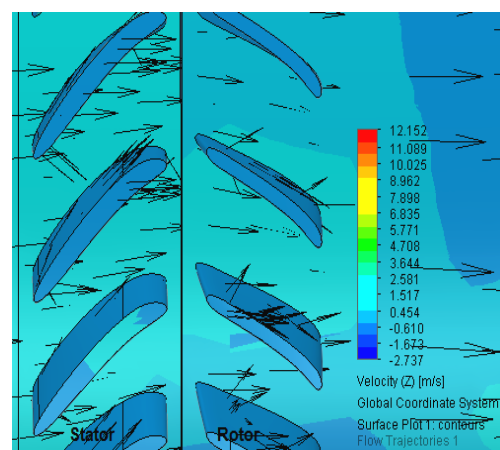
Untuk sudu *stator* dan *rotor* yang sejajar maka didapat dengan menggunakan *CFD* sesuai pada Gambar 16.



Gambar 16. Kecepatan Aliran CO₂

Kecepatan aliran CO₂ secara *flow trajectories* sebesar 0,454 m/detik saat masuk *stator* hingga 4,708 m/detik setelah melalui *rotor*.

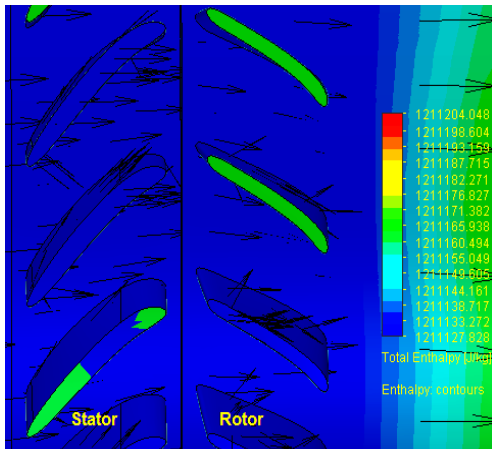
Pada Gambar 17, kecepatan aliran gas CO₂ secara *surface plot* sekitar 0,454 m/detik hingga 1,517 m/detik terlihat melalui celah antara sudu dan sebagian bersifat laminar dan turbulen.



Gambar 17. Kecepatan CO₂ posisi *surface plot*

Untuk entalpi total dapat dilihat pada Gambar 18. Terlihat nilai entalpi total antara 1.211.128 J/kg hingga 1.211.171

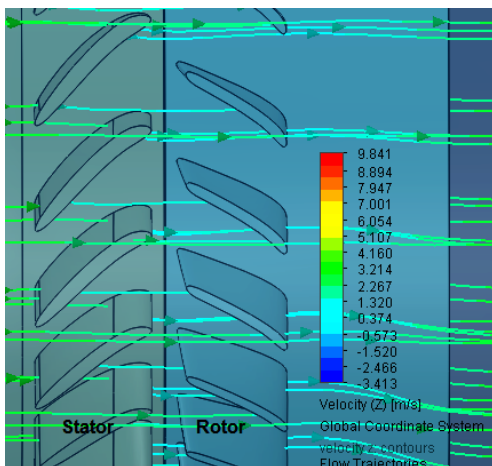
J/kg terutama entalpi tinggi pada daerah ujung atas sudu (*tip*) beberapa sudu *stator* dan sudu *rotor*.



Gambar 18. Total Entalpi

Kasus 2

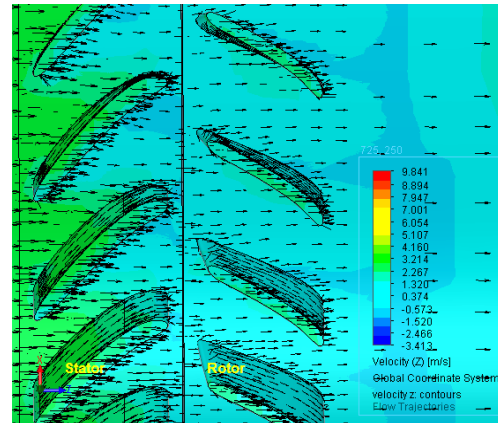
Untuk posisi di antara *stator* dan *rotor* dapat dilihat pada Gambar 19 sampai Gambar 21. Kecepatan pada sudu tidak sejajar pada Gambar 19.



Gambar 19. Kecepatan Aliran CO₂

Untuk kecepatan aliran secara *flow trajectories* dapat terlihat bahwa kecepatan mulai 0,273 m/detik hingga 3,214 m/detik dapat dibaca dengan skala warna.

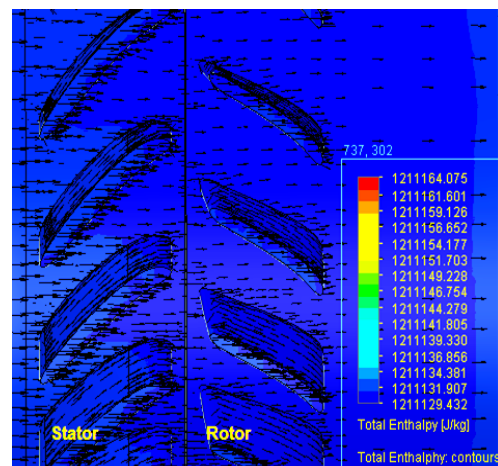
Pada Gambar 20, untuk kecepatan pada posisi *surface plot*. Pada *surface plot* didapat kecepatan CO₂ sebesar 0,374 - 4,160 m/detik ini terlihat dari warna hijau kecepatan yang lebih tinggi masuk melalui *stator* kemudian kecepatan berkurang masuk ke *rotor*.



Gambar 20. Kecepatan *Surface Plot*

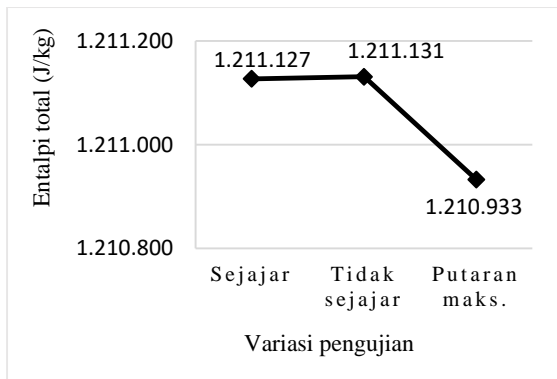
Pada *surface plot* didapat kecepatan CO₂ sebesar 0,374 - 4,160 m/detik ini terlihat dari warna hijau kecepatan yang lebih tinggi masuk melalui *stator* kemudian kecepatan berkurang masuk ke *rotor*.

Adapun untuk entalpi total dapat dilihat pada Gambar 21.



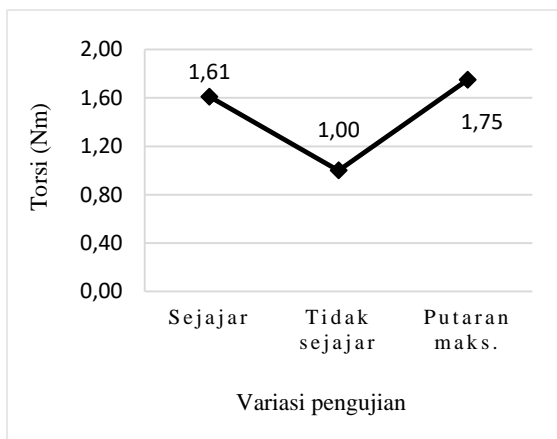
Gambar 21. Entalpi total

Pada Gambar 21, entalpi total bernilai 1.211.129 J/kg hingga 1.211.134 J/kg. Maka secara umum hasil evaluasi pada posisi sudu sejajar, sudu tidak sejajar dan kecepatan putar maksimum menghasilkan entalpi total, nilai tertinggi yang dicapai adalah 1.211.191 J/kg pada posisi sudu tidak sejajar. Ini disebabkan karena aliran gas dari sudu diam langsung diserap oleh sudu jalan pada posisi sudu tidak sejajar. Tetapi pada kecepatan putar maksimum entalpi yang diserap akan mengalami penurunan yang tinggi dan nantinya dapat diserap oleh dua pasang roda jalan turbin tingkat rendah (LPT).



Gambar 22. Nilai entalpi total dari variasi pengujian

Pada Gambar 23, hasil pengujian pada sudu sejajar, sudu tidak sejajar dan kecepatan putar maksimum menghasilkan nilai torsi putar yang berbeda, nilai tertinggi sebesar 1,75 Nm dicapai pada kecepatan putar penuh. Kejadian ini akan ditambah menjadi torsi total oleh dua pasang roda diam dan jalan turbin tingkat rendah (*LPT*)



Gambar 23. Hasil nilai torsi putar dari variasi pengujian

Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil aliran bergantung pada posisi sudu dan kecepatan putar yang dialami oleh sudu bergerak, selain itu kecepatan aliran masa gas, tinggi sudu diam dan bergerak. Adapun akan mengakibatkan turbulen yang besar jika putaran mencapai 15000 rpm. Penelitian ini belum melibatkan material dan konduksi, konveksi, pendinginan bagian dalam sudu. Masih dibutuhkan penelitian lebih lanjut yang lebih presisi, bentuk roda jalan dan tinggi sudu untuk memperbesar torsi putar, menambah kecepatan aliran gas masuk

turbin saat putaran meningkat hingga maksimum serta sudut serang. Oleh sebab itu dibutuhkan perangkat lunak yang dapat menunjukkan efisiensi, torsi, dan daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin tingkat tinggi (HPT) sehingga lebih optimal.

Referensi

- [1] Rao, R. and Pandey, MN., 2014. Simulation of gas turbine blade for enhancement of efficiency of gas turbine using ANSYS. *Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*, 46-51.
- [2] Agromayor, R. and Nord, LO., 2019. Preliminary Design and Optimization of Axial Turbines Accounting for Diffuser Performance. *Journal of Turbomachinery Propulsion and Power* 4,32. 1-29.
- [3] Muhamaddin, F., 2009. Perencanaan Turbin Gas Sebagai Penggerak Generator Listrik Dengan Daya Terpasang 135,2 MW, Skripsi, FT-Mesin USU,
- [4] Informasi dari http://en.m.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model (diakses pada Senin 20-April-2020)
- [5] Rachmanu, F., 2018. Studi Kinerja Termodinamika Turbin Gas Model Saturn-20 Menggunakan Excel, *Jurnal Elektra Vol 3 No.1 Januari*,
- [6] Rachmanu, F., 2017. Desain Ulang Kekuatan Sudu Turbin Gas Saturn-20 Akibat Gaya Sentrifugal Dengan Metode Elemen Hingga , *Jurnal Elektra Vol 2 no.1 Januari*.