

OPTIMASI DESAIN MEKANISME *LINKAGE GUIDE VANE* UNTUK PENGATURAN ALIRAN MASUK AIR KE SUDU PADA TURBIN BANKI

DESIGN OPTIMATION OF LINKAGE GUIDE VANE MECHANISM FOR CONTROLLING FLOW OF THE WATER INTO BLADES IN THE BANKI TURBINE

Sirojuddin^{1✉}, Ahmad Kholil¹, Prima Chandra Utama¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

✉Komunikasi Penulis, email: sirojuddin@unj.ac.id

DOI:<http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv9i1.38-47>

Naskah ini diterima pada 3 Februari 2020; revisi pada 8 Maret 2020; disetujui untuk dipublikasikan pada 13 Maret 2020

ABSTRACT

Banki water turbine is a type of crossflow turbine. The design needs to be optimized to obtain optimal power and component strength. An important part of banki turbines is the guide vane arrangement, because the in-flow of water to the blades in the turbine depends on the arrangement of the guide vane, both at low and normal discharges. This research aimed to optimize the design of the linkage guide vane mechanism so that optimal component size and strength were obtained. The design drawings were first made in 2D using CAD software then shaped into 3D using Inventor software. To get a drag force that occurs in the guide vane, a flow simulation was performed with CFD software on the Guide Vane surface. Total load flow in the guide vane is 200%, including a water hammer factor of 130% and a dynamic load of 150%. Stress analysis simulation using Inventor. Optimization value obtained when safety factor ≥ 3.0 ul. From test results obtained that safety factor 3.02 ul on the guide vane shaft and 3.05 ul on the linkage.

Keywords: *Banki Turbine, guide vane, linkage, optimation, stress analysis*

ABSTRAK

Salah satu bagian penting dalam turbin banki adalah pengaturan *guide vane*, karena aliran masuk air ke sudu pada turbin tergantung dari pengaturan *guide vane* nya, baik pada debit rendah maupun normal. Tujuan riset ini adalah untuk mengoptimasi desain mekanisme *linkage guide vane* agar diperoleh ukuran dan kekuatan komponen yang optimal. Gambar desain pertama-tama dibuat dalam bentuk 2D menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)* kemudian dibentuk ke 3D menggunakan *software Inventor*. Beban total aliran pada *guide vane* diberikan sebesar 200 % meliputi faktor *water hammer* sebesar 130 % dan beban dinamik sebesar 150 %. Simulasi pengujian *stress analysis* menggunakan *software Inventor* dalam rangkaian komponen yang terpadu atau dalam satu *assembly*. Nilai optimasi tegangan yield dibandingkan dengan tegangan yang terjadi $\geq 3,0$ ul (*unitless*). Dari hasil pengujian *software Inventor* diperoleh optimasi faktor keamanan kekuatan material per-komponen sebesar 3,02 ul pada poros *guide vane* dan 3,05 ul pada komponen *linkage*.

Kata kunci : *guide vane, linkage, oOptimasi, stress analysis, Turbin Banki*

I. PENDAHULUAN

Turbin air Banki merupakan jenis turbin *cross-flow*, biasanya digunakan pada pembangkit listrik skala kecil, untuk daerah pedesaan ataupun daerah terpencil yang belum ada pasokan listriknya. Aliran air yang menggerakkan turbin dapat berupa : saluran irigasi, sungai atau air

terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia Republik Indonesia dalam Peraturan No.8 (2011) batasan pembangkit listrik skala mikro hidro (PLTMH) bila daya yang dibangkitkan di bawah 1 MW, dan menurut Suwignyo, (2018) menyatakan bahwa turbin *cross-flow* merupakan

jenis dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro atau PLTMH (daya terbangkit < 200 kW).

Menurut Haimerl (1960), Turbin *Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Turbin ini awalnya dibuat oleh seorang insinyur Australia yang bernama *A.G.M. Michell* di tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh *Prof. Donat Banki* sehingga turbin ini diberi nama turbin Banki kadang disebut juga turbin *Michell-Ossberger*.

Berdasarkan penelitian *Ji Qingfeng, et al.* (2017) yang telah melakukan penelitian pada *guide vane* turbin kaplan tepat pada bagian pembuka air masuk ke turbin. Penelitian dilakukan dengan metode *CDF analysis* dengan mengidentifikasi nilai *Coefficient of moment* (*Cm*) yang terjadi pada *guide vane* yang divariasikan dari penelitian adalah sudut bukaan *guide vane* yakni dilakukan pada *guide vane* ke-26 dikarenakan *guide vane* tersebut memiliki gaya tertinggi dari hasil simulasi aliran masuk pada *guide vane*. Maka *guide vane* tersebut dijadikan objek riset dalam pengambilan data analisis tegangan. Kemudian *guide vane* tersebut di teliti dengan 19 sudut varian yang berbeda. Dari data analisis tersebut di hasilkan makin tinggi nilai sudut *guide vane* maka makin kecil tegangan internal maksimum yang terjadi. Dalam penelitian ini 19 variasi sudut bukaan *guide vane* di bagi menjadi 3 bagian yakni tipe *flow pattern region II*, *Deflection Region*, dan tipe *flow pattern region I*. nilai tegangan internal maksimum dan torsi berada di tipe *flow pattern region II*. Hasil dari penelitian ini adalah tegangan maksimum terjadi pada bagian penyambungan antara *guide vane* dan poros. Perubahan atau pergerakan sudut bukaan *guide vane* sangat signifikan dalam perubahan tegangan maximum pada sudut di bawah 3° sementara tegangan berkurang di atas 3°. Perubahan sudut langsung dari *flow pattern region II* sampai tipe *flow pattern region II* tanpa melewati *deflection region* dapat mengakibatkan perubahan tegangan yang signifikan sehingga berpotensi merusak struktur bagian pada *guide vane* dan penggerak. Penelitian ini berfokus pada analisis perubahan bukaan sudut terhadap perubahan tegangan di bagian penyambung antara *guide vane* dengan poros dan pengambilan nilai momen diambil dari uji aliran pada *software*

CFD, kemudian nilai momen tersebut di rubah ke nilai tegangan dan torsi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh *Mafruddin dan Marsuki* (2017) mereka telah melakukan percobaan eksperimental pada analisis pengaruh bukaan *guide vane* terhadap efisiensi performa keseluruhan turbin. Analisis dilakukan dengan memvariasikan 4 bukaan sudut *guide vane* yakni 20%, 40%, 60% dan 80%. Diketahui dari analisa tersebut bahwa bukaan *guide vane* pada turbin banki *cross-flow* berpengaruh terhadap nilai efisiensi turbin yakni makin besar bukaan *guide vane* maka makin besar efisiensi turbin yang terjadi. Penelitian ini hanya mencoba membuktikan apakah bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap efisiensi performa turbin secara keseluruhan dengan tidak menganalisa berapa tegangan dan torsi yang terjadi pada *lever linkage guide vane* khususnya tegangan dan torsi antara *guide vane* dengan poros pada setiap besaran varian sudut bukaan *guide vane*.

Budiman, et al. (2016) melakukan riset mengenai desain *fail-safe* mekanisme pada pengaturan bukaan atau *guide vane* pada turbin *francise*. Simulasi dalam riset ini dilakukan dengan aplikasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) berdasarkan *Finite Element Methode*. Analisa dilakukan secara spesifik pada salah satu bagian mekanisme bukaan *guide vane* yakni adalah bagian pin geser atau *shear pin* sebagai komponen paling kritis pada rangkaian mekanisme tersebut untuk di desain menjadi bentuk yang sederhana. *Shear pin* yang di desain tersebut harus tahan terhadap beban statis dan dinamis tetapi harus hancur pada bilangan beban tertentu sehingga rangkaian mekanisme *guide vane* tidak hancur secara keseluruhan. Riset dilakukan dengan membuat variasi derajat bukaan *guide vane* saat simulasi, serta beban berlebih dan beban dinamis akibat dari fenomena *water hammer* juga turut di input. Bahan yang di aplikasikan pada *shear pin* tersebut antara lain ialah Al2024. *Shear pin* dengan material Al2024 yang terapkan pada simulasi ada dua jenis, yakni *shear pin* dengan *treatment artificial aging* dan *natural aging*. Dari hasil simulasi pada riset tersebut dihasilkan *shear pin* Al2024. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *shear-pin* yang memiliki *value* berupa *fail-safe* pada sistem mekanisme *guide vane* dan tidak membahas

optimasi kekuatan *mechanical linkage guide vane* secara keseluruhan.

Dalam bukunya Subramanya (2013) menerangkan bahwa celah antara vane dapat di atur dari bukaan maksimum hingga saluran terbuka. Tujuan adanya guide vane yakni untuk mengarahkan aliran air ke *runner* berdasarkan level kecepatan aliran air yang diinginkan dan juga pada arah tangensial ke ujung sudu runner. Pergerakan *guide vane* untuk membuka dan menutup aliran air tersebut akan memberikan *shock-free* kepada *runner*. Kemampuan untuk mengatur lebar celah antar *guide vane* dapat membantu dalam mengontrol total keluaran air dari *nozzle* ke *runner*. Hal itu terkait dengan penyempurnaan tembakan air ke *runner*. Maka dari itu, guide vane juga yang merupakan bagian dari rangkaian mekanisme pengatur dan juga digunakan untuk memulai dan memberhentikan kinerja turbin. *Guide vane* pada umumnya terbuat dari baja cetak.

Yassi dan Hashemloo (2010), menganalisa efisiensi pada turbin terkait dengan pembebanan yang terjadi pada sistem mekanisme guide vane yang di pasang. Riset ini dilakukan dengan melalui uji eksperimen dengan membuat suatu rangkaian aliran air menuju turbin dengan bantuan pendorong air berupa pompa menuju inlet turbine. Riset dilakukan dengan tidak memasang rangkaian mekanisme *guide vane* pada inlet turbin dan dengan dipasangkannya rangkaian mekanisme *guide vane* pada inlet. Lalu kedua metode tersebut di bedakan berdasarkan eksperimen tiap RPM yang berbeda serta posisi bukaan dengan bukaan penuh serta setengah penuh. Kemudian dua metode tersebut dibandingkan. Hasilnya adalah turbin dengan menggunakan mekanisme *guide vane* pada inlet turbin memiliki efisiensi 23% lebih besar dibandingkan efisiensi dengan tanpa memasang mekanisme *guide vane* pada inlet turbin. Penelitian ini tidak membahas analisa tegangan pada tiap batang, tetapi hanya membuktikan hubungan efisiensi pada turbin terkait dengan ada atau tidak nya mekanisme *guide vane* yang terpasang pada turbin.

Riset yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan rangkaian mekanis *guide vane* untuk penggunaan pada turbin *cross-*

flow dengan metode simulasi *stress analysis*. Menurut Alchazin, (2011) *stress analysis* merupakan sebuah alat yang disediakan bagi pengguna *Autodesk Inventor* yang berfungsi untuk menganalisis kekuatan. Fitur ini cukup mudah digunakan dan dapat membantu kita. untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain. Maka selain biaya yang harus kita keluarkan akan berkurang, waktu penjualan dari benda yang kita desain pun dapat dipercepat karena kita sudah mensimulasikan terlebih dahulu benda yang kita desain di komputer sebelum masuk ke proses produksi.

Metode ini di dukung oleh *feature Finite Element Methode* (FEM) yang menurut Liu, Yijun. (2004) *Finite Element Method* (FEM), atau *Finite Element Analysis* (FEA), didasarkan pada suatu gagasan yang membagi benda rumit, menjadi potongan kecil dan mudah diatur. Penerapan ide sederhana ini bisa ditemukan dimana-mana dalam kehidupan sehari-hari, begitu juga dalam bidang Teknik. Dari sini dapat diperoleh besaran *Safety Factor* (SF) yang terjadi pada rangkaian mekanisme *guide vane* yang telah di buat dalam bentuk 3D dan di simulasi *stress analysis* dengan *finite element methode* sehingga di tentukan desain rangkaian mekanisme *guide vane* yang dapat mencapai angka *safety factor* yang sesuai dengan kriteria desain. Bagian utama turbin banki dapat di lihat pada Gambar 1. Tujuan riset ini adalah untuk mengoptimasi desain mekanisme *linkage guide vane* agar diperoleh ukuran dan kekuatan komponen yang optimal.

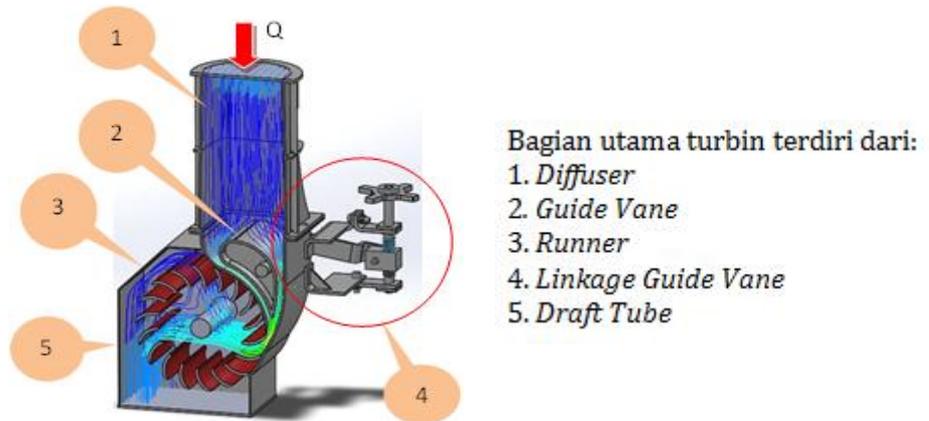
II. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan, Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta dengan menggunakan *software* CAD, *Inventor*, dan *software* CFD. Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan ukuran parameter dan data lain pada turbin dapat dilihat pada Tabel 1.

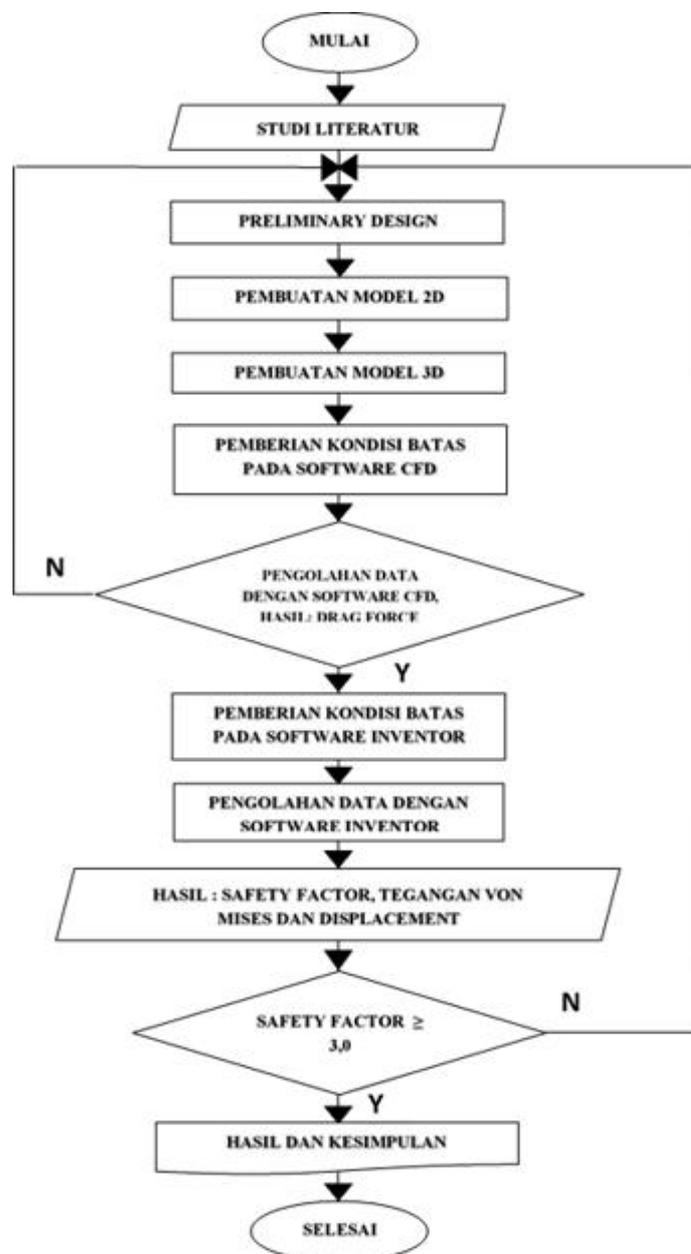
2.1. Nilai Tegangan Gabungan Von Mises

Tegangan gabungan Von Mises atau Hueber Mises Hencky (HMH) menggunakan Persamaan berikut :

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_I)^2 + r * (\sigma^2 + \sigma_S^2)} \quad (1)$$



Gambar 1. Bagian pada Turbin Banki



Gambar 2. Diagram Alir

$$Sf = \frac{\sigma_y}{\sigma_{red}} \geq 3 \tag{2}$$

Dimana, σ_B adalah tegangan bengkok (N/mm^2), σ_T adalah tegangan tarik (N/mm^2), σ_s adalah tegangan geser (N/mm^2), merupakan 3 for HMH (Hueber Mises Hencky) - Teori Energi Distorsi Maksimum, dan 4 untuk Tresca-Guest - Teori Tegangan Geser Maksimum, S_f adalah safety factor (ul/unitless), σ_y adalah tegangan Yield Bahan (N/mm^2), dan σ_{red} adalah tegangan reduksi atau tegangan ekivalen yang terjadi (N/mm^2).

2.2. Nilai Drag Force pada Guide Vane

Untuk mendapatkan nilai drag force maka digunakan software Computational Fluid Dynamics (CFD). Sehingga dengan menginput surface pada guide vane yang terkena aliran fluida cair berupa air seperti yang terlihat pada Gambar 3, diketahui nilai drag force nya yaitu sebesar 666 N pada saat guide vane terbuka

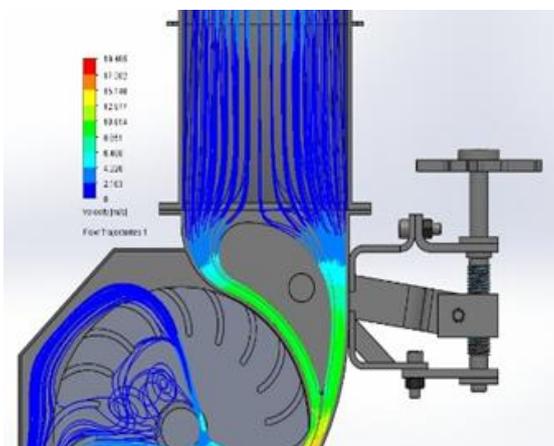
100%, selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk pengujian pada komponen-komponen yang ada pada mekanisme linkage guide vane. Dalam software Inventor, material atau bahan yang digunakan berbeda-beda sesuai dengan standar material JIS G3101. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada dilihat pada Tabel 2.

2.3. Perancangan Mekanisme Linkage Guide Vane

Pada mekanisme linkage guide vane yang dibuat, ada 13 komponen (Gambar 4 a). Nama dan fungsi masing komponen antara lain (1) poros guide vane berfungsi sebagai dudukan guide vane dan meneruskan gaya yang diterima oleh guide vane, (2) lengan poros guide vane berfungsi untuk menahan momen yang terjadi pada key, (3) key berfungsi untuk menahan gaya yang terjadi pada poros, (4) pin berfungsi untuk menahan momen yang terjadi pada lengan poros guide vane, (5) lengan atas poros-1 berfungsi untuk menahan poros berulir, (6) lengan atas

Tabel 1. Parameter Desain dan Data Turbin

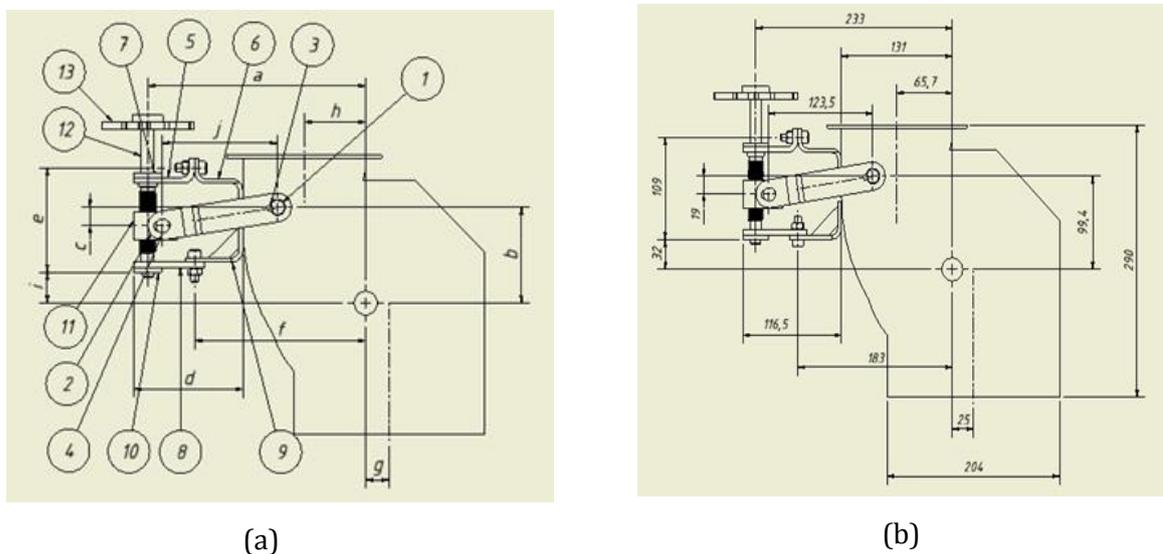
Parameter Desain	Data Kalkulasi	Dimensi Desain	Deskripsi
α_1	16°	16°	Sudut Masuk
β_1	30°	30°	Sudut Blade
D_1	200 mm	200 mm	Diameter Luar Runner
n	18 pieces	18 pieces	Jumlah Sudu Runner
V_1	10.18 m/s	10.18 m/s	Kecepatan Absolut Air Head
H	5,5 m	5,5 m	Head
N	468.84 rpm	470 rpm	Putaran Runner
Q	2 m ³ / min	2 m ³ / min	Debit Aliran
D_s	25 mm	25 mm	Diameter poros
S_1	16 mm	16 mm	Tebal Tembakan Nozzle



Gambar 3. Gambar Flow Simulation

Tabel 2. *Mechanical Properties of Material*

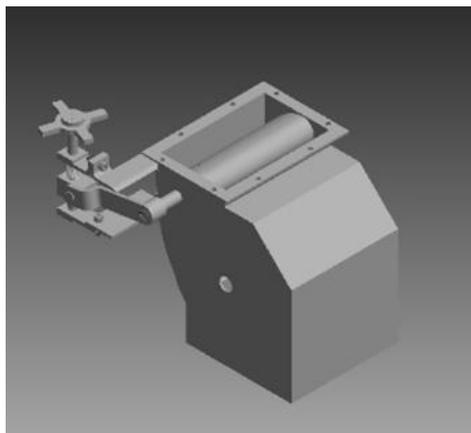
Part Name	Key	
Standart Material	S35C	
General	Mass Density	7.73 g/cm ³
	Yield Strength	304 MPa
	Ultimate Tensile Strength	510 MPa
Stress	Young's Modulus	190 GPa
	Poisson's Ratio	0.27 ul
	Shear Modulus	78.8031 GPa
Part Name	Lengan Poros <i>Guide Vane</i> , Lengan Atas Poros 1&2, Plat Poros Atas, Lengan Poros Bawah 1&2, Plat Poros Bawah, Link	
Standart Material	SS400	
General	Mass Density	7.8 g/cm ³
	Yield Strength	400 MPa
	Ultimate Tensile Strength	530 MPa
Stress	Young's Modulus	205 GPa
	Poisson's Ratio	0.3 ul
	Shear Modulus	78.8462 GPa
Part Name	Poros <i>Guide Vane</i> , Pin, Poros Berulir	
Standart Material	SS45C	
General	Mass Density	7.7 g/cm ³
	Yield Strength	343 MPa
	Ultimate Tensile Strength	569 MPa
Stress	Young's Modulus	190 GPa
	Poisson's Ratio	0.27 ul
	Shear Modulus	78.8031 GPa



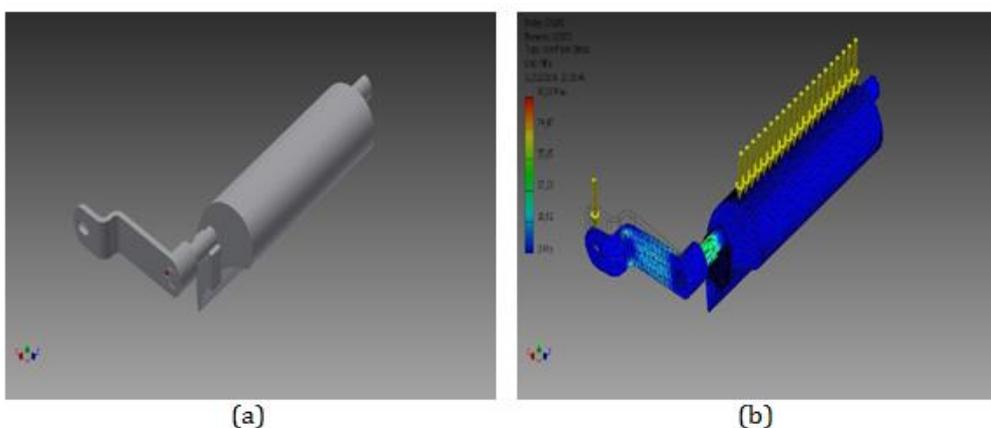
Gambar 4. (a) Komponen-Komponen dan (b) Dimensi Turbin Mekanisme *Linkage Guide Vane*

poros-2 berfungsi untuk menahan lengan atas poros-1, (7) plat poros atas berfungsi untuk menahan poros berulir, (8) lengan bawah poros-1 berfungsi untuk menahan poros berulir, (9) lengan bawah poros-2 berfungsi untuk menahan lengan bawah poros-1, (10) plat poros bawah

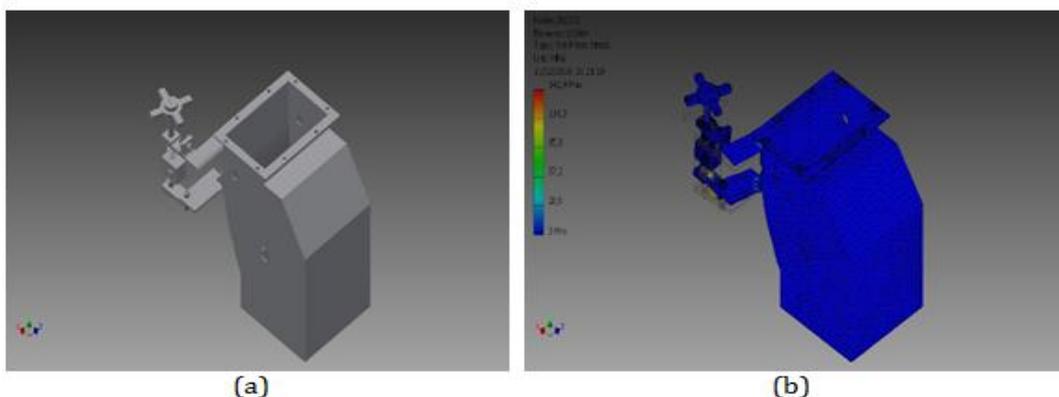
berfungsi untuk menahan poros berulir, (11) link berfungsi untuk menahan pin pada lengan poros *guide vane*, (12) poros berulir berfungsi menahan gerakan dan mengatur besarnya buka tutup *guide vane*, dan (13) handle berfungsi untuk memutar poros berulir.



Gambar 5. Full Assembly Mekanisme Linkage Guide Vane



Gambar 6. (a) Assembly Bagian 1 dan (b) Mesh View Assembly Bagian 1



Gambar 7. (a) Assembly Bagian 2 dan (b) Mesh View Assembly Bagian 2

Gambar 4 b merupakan dimensi turbin, Gambar 5, 6 a dan b, dan Gambar 7 a dan b merupakan pemodelan 3D dan Finite Element Method (FEM).

2.4. Faktor Keamanan (Safety Factor)

Perbandingan dari kekuatan sebenarnya (kekuatan bahan) terhadap kekuatan yang

dibutuhkan (kekuatan maksimal yang terjadi) disebut faktor keamanan.

$$SF = \frac{TeganganYieldBahan}{TeganganyangTerjadi} \tag{3}$$

Faktor keamanan (*SF*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi kemandirian komponen dari suatu mesin. Dalam menghindari

terjadinya kegagalan struktur (*structure failure*) maka kekuatan sebenarnya dari suatu bahan haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan, dihitung sebagai kekuatan *yield* (luluh) bahan dibagi dengan tegangan yang terjadi. Faktor keamanan juga digunakan sebagai nilai acuan dalam mengoptimasi desain mekanisme *linkage guide vane* untuk mengetahui bahwa model tersebut akan cenderung gagal dibawah kondisi beban tertentu.

2.5. Optimasi Desain

Optimasi desain adalah apabila tegangan terjadi sama dengan tegangan yang diizinkan seperti pada Persamaan berikut.

$$\tau_{red} = \tau_a \quad (4)$$

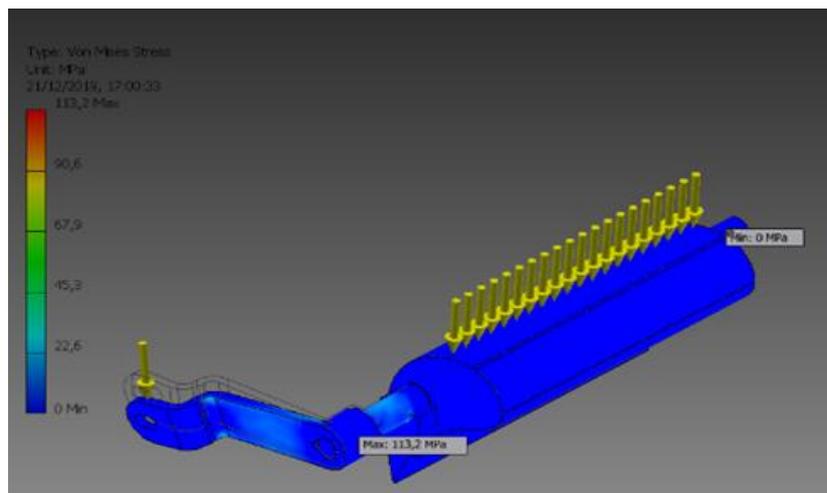
$$\tau_a = \frac{\tau_y}{SF} \quad (5)$$

Dimana, Nilai *Safety Factor (SF)* untuk mengoptimasi desain mekanisme *linkage guide vane* yang diambil = 3 ul. Desain kemudian dianalisis pada *software Inventor* dan hasil analisis akan dibandingkan dengan nilai yang mendekati SF=3 ul atau lebih besar sedikit dari nilai SF yang diambil.

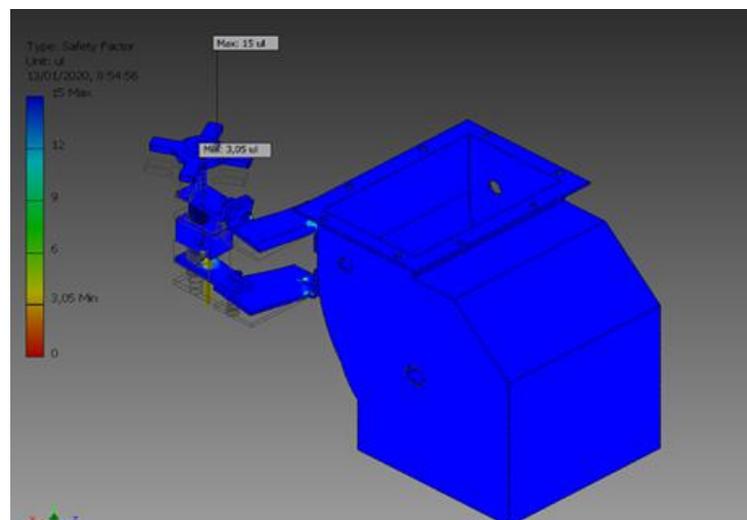
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisa *Software Autodesk Inventor*

Setelah dilakukan analisa dan simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor* diperoleh hasil daerah komponen mekanisme *linkage guide* yang berbahaya berada di bagian poros *linkage guide vane* seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Simulasi *Assembly* Bagian 1



Gambar 9. Hasil Simulasi *Assembly* Bagian 2

Tabel 3. Data Hasil Simulasi pada *Software Inventor*

Name		Assembly Bagian 1	Assembly Bagian 2
Von Mises Stress	Min	0,000004168 MPa	0 MPa
	Max	113,218 MPa	112,497 MPa
Displacement	Min	0 mm	0 mm
	Max	0,311919 mm	0,27463 mm
Safety Factor	Min	3,02 ul	3,05 ul
	Max	15 ul	15 l

Selanjutnya daerah komponen mekanisme *Linkage Guide Vane* yang berbahaya berada di lengan bawah poros 1 seperti yang terlihat pada Gambar 9.

Pada *Assembly* Bagian 1 yang terdiri dari poros *guide vane*, lengan poros dan *key* dilakukan pengujian *stress analysis* dan terlihat beban maksimal terjadi pada poros *guide vane* sebesar 113,218 MPa, sedangkan pada *Assembly* Bagian 2 yang terdiri dari lengan atas poros, lengan bawah poros, pin, poros berulir dan *handle* poros dan terlihat beban maksimal terjadi pada lengan poros bawah yaitu sebesar 112,497 MPa. Maka diperoleh faktor keamanan minimum dari *Assembly* Bagian 1 adalah 3,02 ul dan pada *Assembly* Bagian 2 adalah 3,05 ul seperti yang terlihat pada Tabel 3.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi aliran fluida cair berupa air menggunakan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)*, maka bisa disimpulkan hasil *drag force* yang terjadi pada *guide vane* saat terbuka 100% akibat terkena aliran air yaitu sebesar 666 N. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *stress analysis* pada *software Autodesk Inventor*, pada *Assembly* Bagian 1 yang terdiri komponen dari poros *guide vane*, lengan poros dan *key* dilakukan pengujian *stress analysis* dan terlihat beban maksimal terjadi pada poros *guide vane* sebesar 113,218 MPa, dan diperoleh hasil *safety factor* minimum sebesar 3,02 ul (*unitless*). Serta pada *Assembly* bagian 2 yang terdiri dari komponen lengan atas poros, lengan bawah poros, pin, poros berulir dan *handle* poros dan terlihat beban maksimal terjadi pada lengan poros bawah yaitu sebesar 112,497 MPa, dan diperoleh hasil *safety factor*

minimum sebesar 3,05 ul (*unitless*). Maka ditarik kesimpulan bahwa desain poros *guide vane* dan bagian *linkage guide vane* desain nya optimum, dimana batas SF ≥ 3 ul (*unitless*).

4.2. Saran

Pada analisa mekanisme *linkage guide vane* pada turbin banki terdapat beberapa saran yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik, yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya harap diperhatikan pembebanan dan kondisi batas pada pada mekanisme *linkage guide vane* agar hasil yang di dapat sesuai dengan hasil dilapangan.
2. Menggunakan jenis material yang berbeda.
3. Menggunakan perangkat lunak selain *Autodesk Inventor* untuk mendapatkan hasil yang lebih variatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alchazin, S. 2011. *Modul Training Autodesk Inventor 2012*. Lapan. Bogor.
- Budiman, B.A., Suharto, Djoko., et al, 2016. *Fail-Safe Design And Analysis For The Guide Vane Of A Hydro Turbine*. Internation Journal Advances in Mechanical Engineering, Vol. 8(7) 1-8., DOI: 10.1177/1687814016658178. <http://aime.sagepub.com>.
- Haimperl L.A. (1960). *The Cross-Flow turbine*. *Water Power West Germany*, Vol. 12, No. 1, pp. 5-13.
- Ji, Qingfeng., Liao, Weili., et al, (2017). *Structural characteristic analysis of the guide vanes of a pump turbine which working at the*

- slight opening region. International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery.* Hawaii : Maui.
- Jis Handbook, *Ferrous Materials & Metallurgy English Version*, (2018) ISBN 9784542137226
- Liu, Yijun. (2004). Lecture Notes : Introduction to The Finite Element Method. CAE Research Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Cincinnati. U.S.A.
- Mafrudin dan Marsuki. 2017. Pengaruh Bukaannya Guide Vane Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Cross-Flow. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro. Turbo* Vol. 6 (1).
- Menteri Energi Sumber Daya Mineral RI No.8 (2011), *Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Listrik Perdesaan Tahun Anggaran 2011.* Kementrian ESDM RI.
- Subramanya, K. 2013. *Hydraulic Machine.* Tata : Mc Graw-Hill Education
- Suwignyo, I. M. & A. M. (2018). Desain dan Pembuatan Turbin Gas. 90-96.
- Yassi, Y. dan Hashemloo, S. 2010. Improvement Of The Efficiency Of The Agnew Micro Hydro Turbine At Part Loads Due To Installing Guide Vanes Mechanism. *Energy Conversion and Management, Vol. 51.* 1970-1975