

EFEK PROFIL SUDU TURBIN BANKI TERHADAP KEKUATAN BAHAN DAN LINTASAN AIR DALAM RUNNER

Sirojuddin

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Negeri Jakarta
Program Studi Teknik Mesin
sirojuddin@unj.ac.id

Regina Ibawati

Mahasiswa S1
Lab Perancangan Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta
reginaibawati1@gmail.com

Junior Ramadhani Syahri

Mahasiswa S1
Lab Perancangan Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta
juniorramadhani13@gmail.com

In the Banki turbine, the blade profile needs special attention in its design, so that the high output power can be reached. The design of the blade profile is controlled by the strength of the material and water trajectory from the first and second stages of blades to refrain the water strikes the shaft of the turbine. The aim of this study is to determine the effect of the blade profile on the strength of the material and the trajectory of water in the runner to obtain the best blade profile. The strength limit of the material observed from the value of the safety factor and the flow trajectory could be seen from the flow line of water which should not strike the shaft. The number and width of the blades were obtained based on the water discharge of 2 m²/min with a head equal to 5.5 m. 2D and 3D drawings were created using drawing software. Analysis of water trajectories using CFD simulation and stress analysis using FEM software. They were 3 variants of blade profile, variant PS-1 tapered in at top and bottom, PS-2 tapered at top and square in bottom, PS-3 at the bottom with the radius equal to 10 mm while the tip radius is 0.2 mm, and round tip at the top. From simulation results, it was found that the safety factor is 5.36, 4.31, 3.28, for the PS-1, PS-2, PS-3 respectively. From CFD simulation it is proved that PS-3 flow trajectory did not strike the shaft, while the others still strike the shaft and did not meet the safety factor of 3. The variant PS-3 was the best because the safety factor close to 3 and the flow trajectory did not strike the shaft.

Keywords : Blade Profile, Flow Trajectory, Strength, Safety Factor.

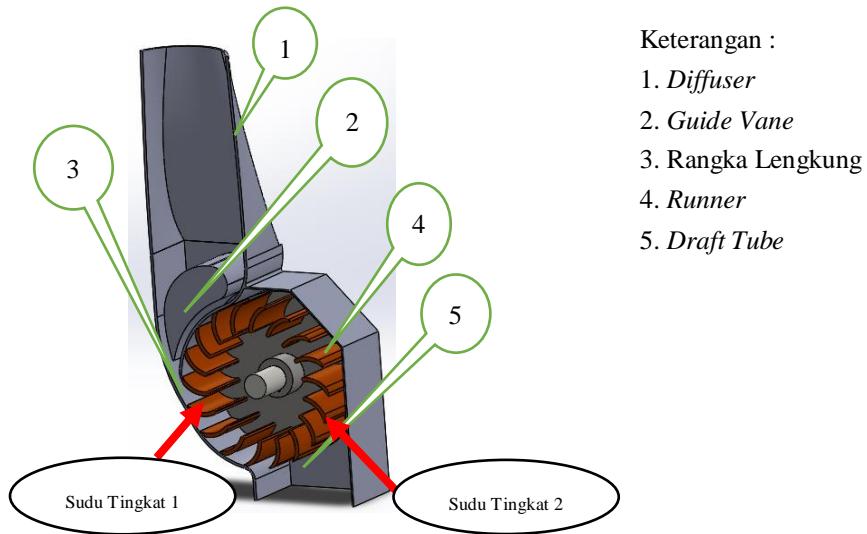
1. PENDAHULUAN

Turbin Banki adalah jenis turbin crossflow atau turbin impuls. Umumnya dipakai pada pembangkit listrik skala mikrohidro. Konstruksinya sederhana, pembuatannya mudah, harganya murah, ringan dalam transportasi, perakitan dan perawatan. Dapat dioperasikan oleh masyarakat desa dan cocok untuk daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik. Skala mikro hidro menurut peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral RI No.8 tahun 2011 adalah kurang dari 1 MW [1]. Dalam turbin Banki, profil sudu memegang peranan yang penting terhadap daya yang akan dihasilkan. Perancangan suatu profil sudu runner memerlukan optimasi agar dihasilkan profil yang kuat, bentuk aliran air seragam dan tidak membentur poros.

Teori dan eksperimen turbin Banki skala laboratorium dengan debit air 3ft³/det, tinggi jatuh 16 ft dengan jumlah sudu 20 buah telah diteliti [2]. Dari hasil eksperimen tersebut diperoleh efisiensi maksimum sebesar 68 % pada bukaan nozel 100% dengan putaran 270 rpm. Pada eksperimen yang lain tentang kinerja turbin *cross-flow* dengan debit air 0.0091 m³/det , tinggi jatuh 6 m, pembukaan nozel di posisi 100 % terbuka penuh didapatkan effisiensi sebesar 75,4 % [3]. Dengan memvariasikan sudut serang nozel dari 30°, 45°, 60° sampai 70°, diperoleh kinerja turbin tertinggi pada sudut 30° [4]. Selanjutnya dalam penelitian dengan variasi jumlah sudu 16, 20, 23, 25, 28 dan 32 buah kemudian membandingkan hasil variasi daya pada setiap varian [5]. Studi simulasi turbin *cross-flow* dengan *software CFD* , dengan jumlah sudu 18 buah, dan diameter 0,24 m, diameter pipa inlet 0,4 m dan lebar outlet 0,8 m. Turbin didesain dengan kecepatan aliran air sebesar 6 m/det. Aliran air kelihatan tidak seragam dan masih membentur poros, dipastikan effisiensi turbin akan rendah [6]. Pada investigasi pengaruh lengkung sudu terhadap daya turbin menunjukkan bahwa

kelengkungan sudu pisau 15° memberikan daya *output*, kecepatan, dan effisiensi yang lebih besar dari kelengkungan sudu 16° dan 17° , namun profil sudu tidak di gambarkan secara detail [7]. Penelitian dengan mengatur aliran air masuk ke sudu secara eksperimen dan dianalisis dengan *software CFD*, diperoleh hasil bila putaran rendah effisiensinya rendah. Effisiensi terbaik didapat pada putaran 250 rpm [8]. Dalam uji coba perbandingan terhadap jumlah sudu runner 16, 18 dan 20 terhadap kinerja turbin *cross-flow*. Hasil hitungan jumlah sudu berdasarkan data desain adalah 18 buah, diperoleh untuk jumlah sudu 16 buah effisiensinya 44 % , dan jumlah sudu runner 18 buah sebesar 62 %, sedangkan jumlah sudu 20 sebesar 56 %. Effisiensi maksimal yang didapat sebesar 62 % [9]. Studi perancangan turbin Banki dengan debit air sebesar $0,149 \text{ m}^3/\text{s}$, tinggi jatuh sebesar 6,08 m. diameter runner luar 0,37 m dan dalamnya 0,24 m, jari-jari kelengkungan sudu 0,06 m, jumlah sudu 18 buah. Penelitian disini hanya terfokus pada rancang bangun turbin [10]. Riset pada profil sudu bagian atas terhadap effisiensi turbin, menggunakan empat profil berbeda (atasnya bulat, flat, runcing dan oval , bagian bawahnya sama flat) menunjukkan bahwa effisiensi profil sudu yang flat menghasilkan daya yang masih rendah dan aliran membentur poros [11]. Suatu analisis dan uji coba turbin banki skala kecil dengan variasi sudu bulat, segitiga, sirip dengan sudut nozel dari 0° sampai 40° (8 variasi) dengan kenaikan setiap 5° , dan titik jatuh air mulai 0° sampai 75° dengan kenaikan 15° (5 variasi). Hasil analisis diperoleh yang terbaik sudu bulat. Riset ini tidak menghitung kekuatan sudu akibat semburan air yang masuk runner turbin [12]. Penelitian turbine kinetik untuk mengetahui pengaruh variasi kedalaman sudu mangkuk terhadap kinerja turbin didapatkan hasil tertinggi pada variasi kedalaman bilah 4 cm, diikuti oleh turbin dengan variasi kedalaman bilah 3 cm dan kinerja turbin terendah diperoleh pada variasi kedalaman bilah 2 cm. Performa maksimum turbin diperoleh pada variasi kedalaman sudu 4 cm pada 80 rpm dan debit air $65 \text{ m}^3/\text{jam}$, dimana daya yang dihasilkan sebesar 13,2 Watt dan efisiensi 34,5% [13].

Fokus penelitian ini adalah mencari efek profil sudu terhadap faktor keamanan agar diperoleh desain yang optimum bila dikenai tegangan gabungan serta mendapatkan aliran yang seragam dan tidak membentur poros menggunakan *software FEM* dan *CFD Flow Simulation*.

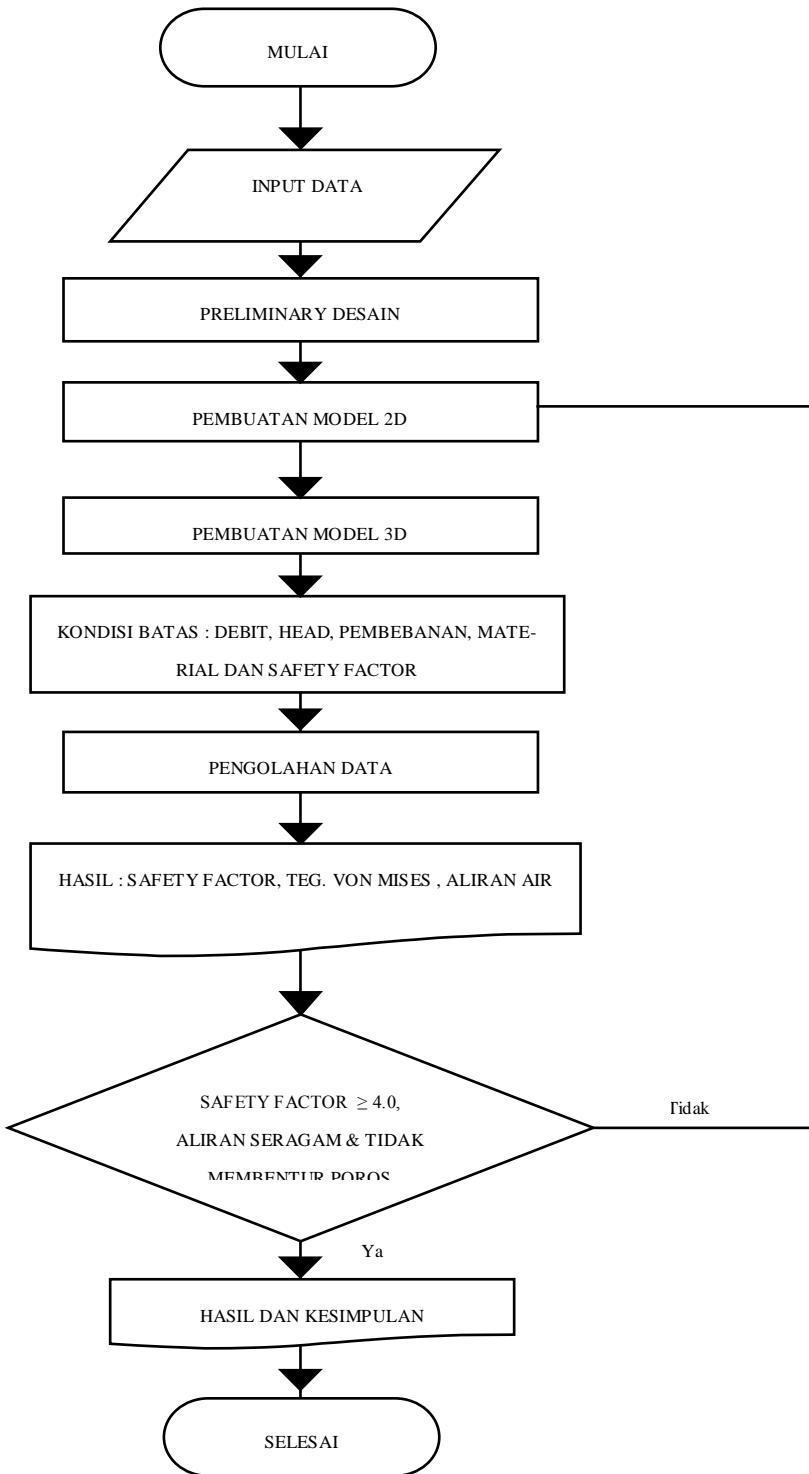


Gambar .1 Bagian Utama Turbin Banki

2. METODE DAN BAHAN

Berdasarkan daya penggereman (brake power) atau daya akibat gaya momentum yang diakibatkan oleh kecepatan absolut air setinggi H dengan debit tertentu maka perhitungan sudu dapat dilakukan. Hasil perencanaan sudu dibuat dalam gambar 2D menggunakan *software AutoCAD*, kemudian divariasikan menjadi 3 varian profil , yaitu varian PS-1 bagian sudu atas bawah runcing, varian PS-2 bagian sudu atas runcing bawah persegi, dan varian PS-3 bagian atas radius 10 mm ujung radius 0,2 mm dan bagian bawah bulat. Selanjutnya digambarkan dalam bentuk 3D untuk keperluan analisa kekuatan menggunakan *software Autodesk Inventor* dan analisa aliran air menggunakan *software CFD Flow Simulation*.

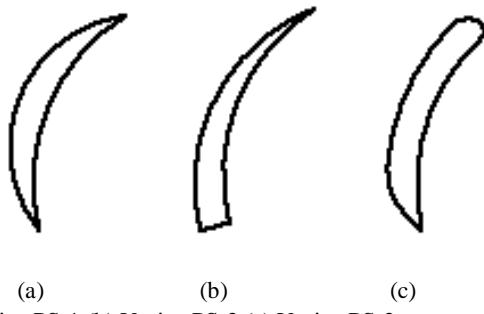
Diagram alir dapat dilihat pada gambar 2. di bawah ini :



Gambar. 2 Diagram Alir Desain Sudu dan *Runner* Turbin

2.1 Perancangan Sudu Dan *Runner*

Perancangan dimensi sudu dan runner [2], varian sudu dibuat 3 varian seperti pada Gambar 3. Perhitungan didasarkan pada gaya dan momen yang bekerja, dimana momen dan gaya tersebut menimbulkan tegangan gabungan dari puntir, bengkok, aksial atau transversal.



Gambar. 3 Profil Sudu (a) Varian PS-1 (b),Varian PS-2 (c),Varian PS-2

Setelah sudu dan *runner* digambar beserta komponen turbin yang lain dengan kompak, selanjutnya dibuat pemodelan separuh benda berikut pembebanannya. Perhitungan tegangan gabungan menggunakan teori Energi Distorsi Maksimum atau *Von Mises* atau *Hueber Mises Hencky* (HMH) dalam Autodesk Inventor. Nilai “*safety factor*” diambil = 4 untuk bahan yang sudah diketahui dengan tegangan-tegangan yang tak menentu [15] dan untuk antisipasi keausan sudu akibat abrasi air yang tercampur sedimen. Tegangan gabungan HMH [14] menggunakan rumus berikut :

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_T)^2 + \alpha * (\tau^2 + \tau_s^2)} \quad (1)$$

$$Sf = \frac{\sigma_y}{\sigma_{red}} \geq 4 \quad (2)$$

Untuk optimasi desain diambil $Sf = 4$

Dimana:

σ_B = Tegangan bengkok [N/mm^2]

σ_T = Tegangan Tarik [N/mm^2]

τ = Tegangan torsi [N/mm^2]

τ_s = Tegangan geser [N/mm^2]

α = 3 for HMH

= 4 for *Tresca-Guest*

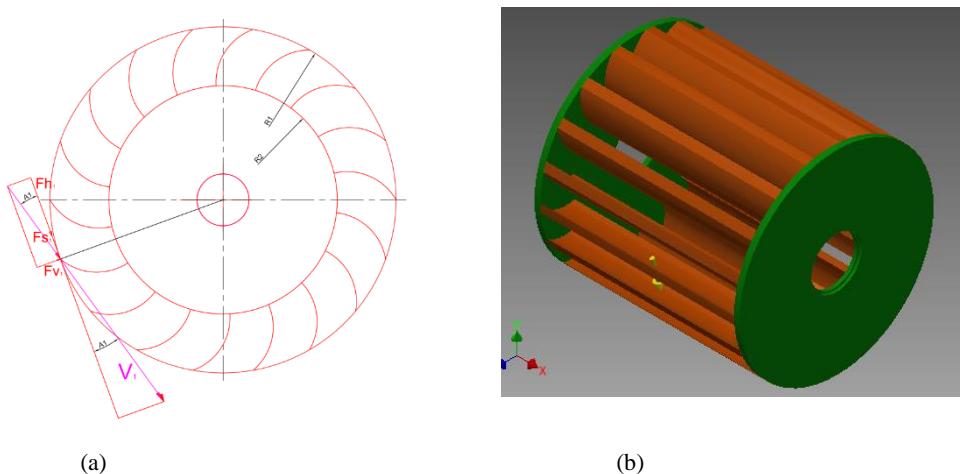
S_f = Safety Factor [unitless]

σ_y = Tegangan Yield Bahan [N/mm^2]

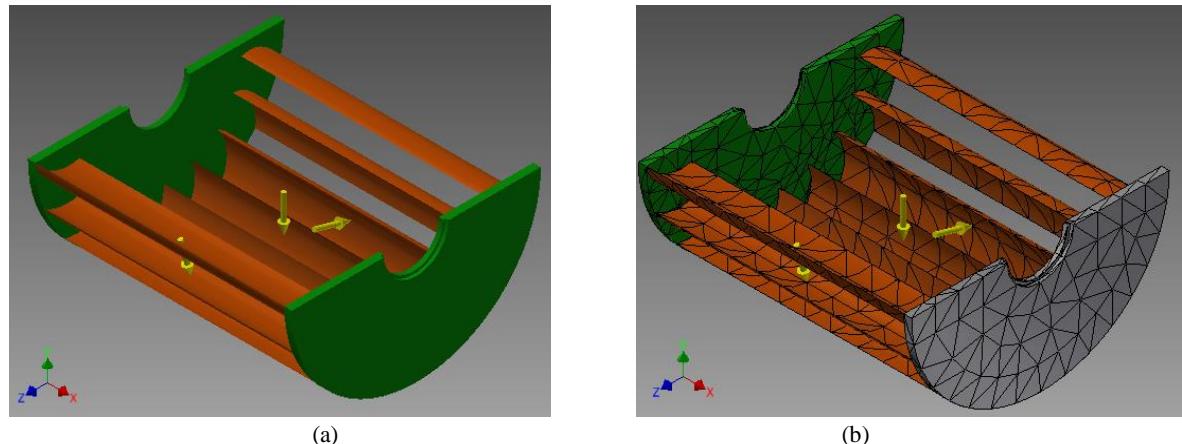
σ_{red} = Tegangan reduksi atau tegangan ekivalen yang terjadi [N/mm^2]

2.2 Pemodelan 3D dan FEM

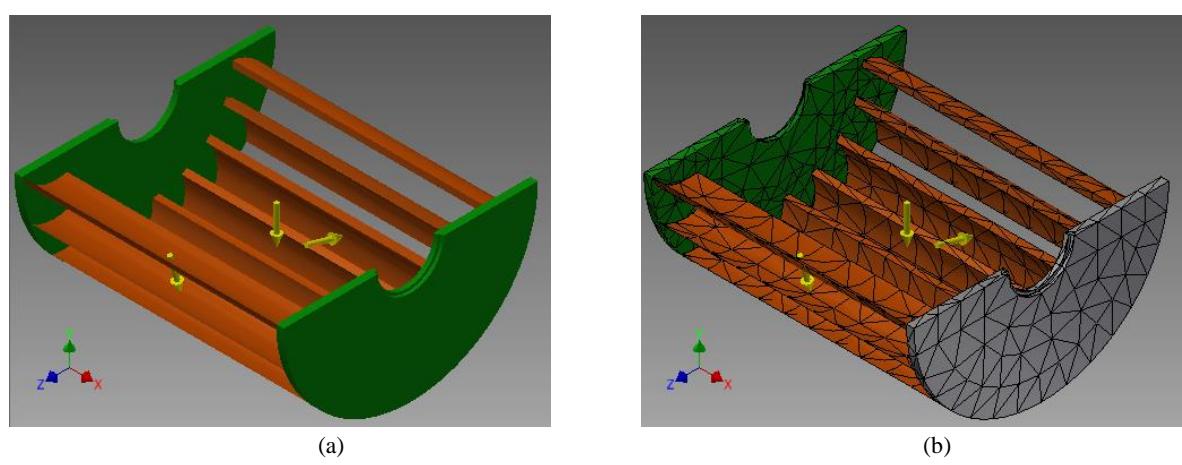
Pemodelan geometri 3D dan FEM dibuat separuh, karena bendanya simetris dan hasil uji tidak jauh berbeda. Pemodelan gaya diaplikasikan hanya pada sudu tingkat 1 saja, sudu tingkat 2 diabaikan karena nilainya kecil.



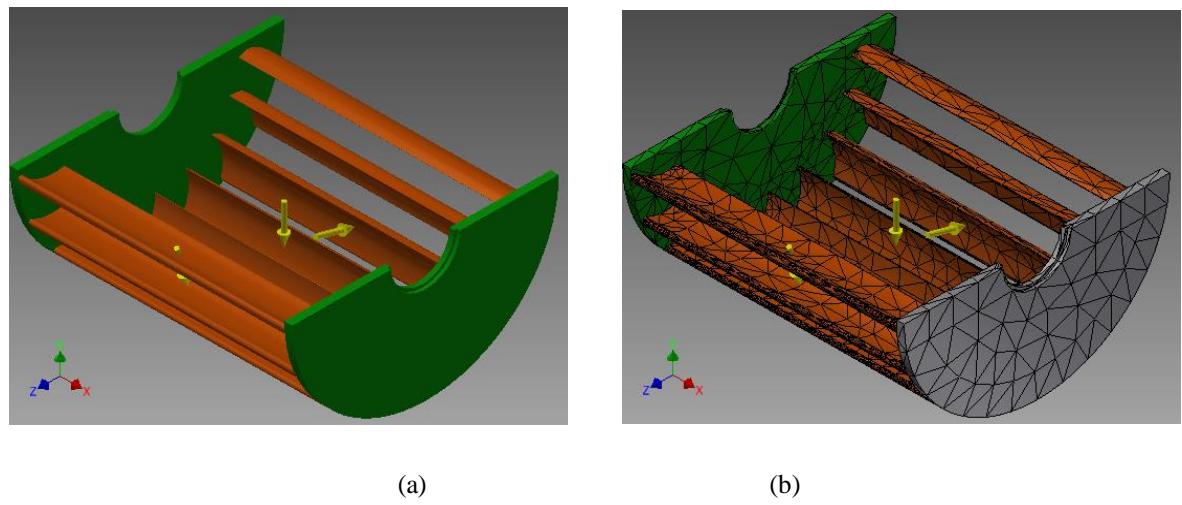
Gambar 4. (a) Model Gaya-gaya Pada *Runner* (b) Model Penuh 3D *Runner* Turbin



Gambar. 5 Model Separuh *Runner* Turbin (a) Geometri 3D Varian PS-1, (b) *Meshing FEM* Varian PS-1



Gambar. 6 Model Separuh *Runner* Turbin (a) Geometri 3D Varian PS-2, (b) *Meshing FEM* Varian PS-2



Gambar. 7 Model Separuh *Runner* Turbin (a) Geometri 3D Varian PS-3, (b) *Meshing FEM* Varian PS-3

Tabel 1: Parameter dan Data untuk Desain Turbin

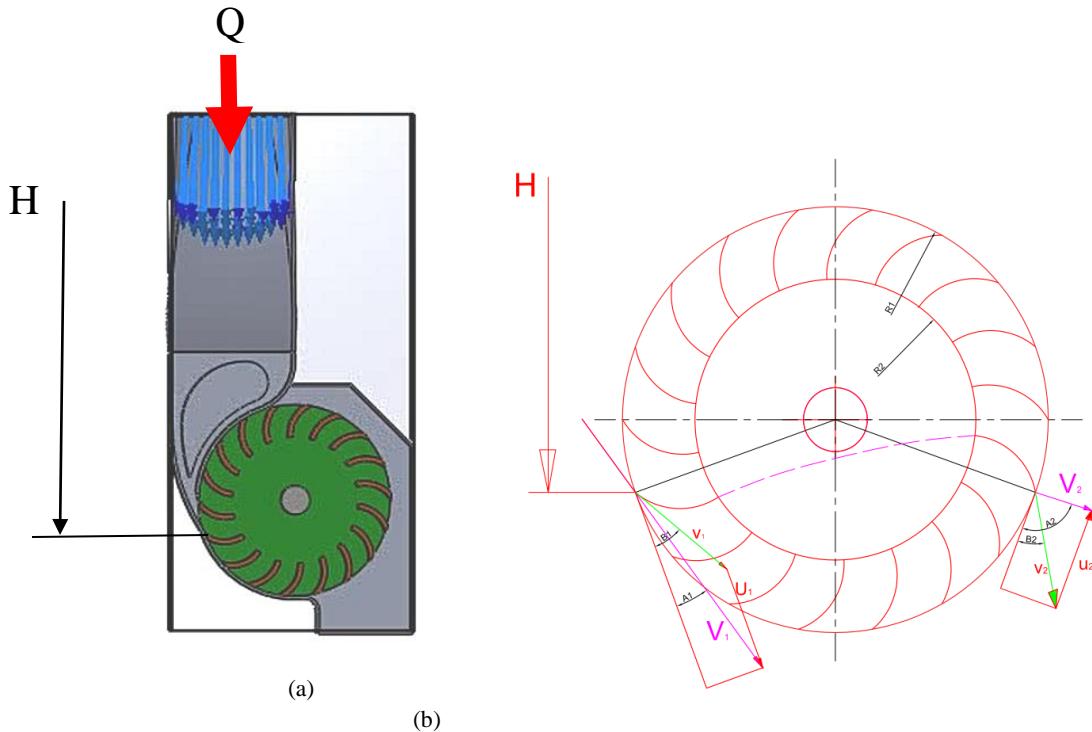
PARAMETER DESAIN	DATA PERHITUNGAN	DATA DESAIN	KETERANGAN
Q	2 m ³ /min	2 m ³ /min	Debit Air
H	5.5 m	5.5 mm	Tinggi Jatuh Air
BP	1580 W	1580 W	Daya Pengereman (<i>Brake Power</i>)
Pm	1597 W	1597 W	Daya Berdasarkan Momentum
α_1	16°	16°	Sudut Air Masuk <i>Runner</i>
β_1	30°	30°	Sudut Sudu <i>Runner</i>
L	200 mm	200 mm	Panjang <i>Runner</i>
D ₁	200 mm	200 mm	Diameter Luar Roda
D ₂	131.97 mm	132 mm	Diameter Dalam Roda
N _s	17 ft-HP	17 ft-HP	Kecepatan Spesifik
N	18.05 buah	18 buah	Jumlah Sudu
F _{s1}	339,3 N	508,95 N	Gaya Pancaran Air Masuk Sudu 1
F _{v1}	93,52 N	140,28 N	Gaya Vertikal Sudu Tingkat 1
F _{h1}	326,15 N	489,23 N	Gaya Horizontal Sudu Tingkat 1
F _{s2}	3.36 N	3.36 N	Gaya Pancaran Air Masuk Sudu 2
F _{v2}	0.92 N	0.92 N	Gaya Vertikal Sudu Tingkat 2
F _{h2}	3.32 N	3.32 N	Gaya Horizontal Sudu Tingkat 2
N	468.84 rpm	470 rpm	Putaran Turbin
L/D ₁	1	1	Rasio Panjang dan Diameter

Tabel 2: Spesifikasi Bahan Sudu dan Plat Dinding *Runner* [16].

NAMA BAGIAN	Plat Dinding Runner	
STANDAR BAHAN	JIS G3101 SS400	
SPESIFIKASI	Massa Jenis	7.73 g/cm ³
	Tegangan Yield	245 MPa
	Tegangan Tarik Maksimum	400 MPa
	Modulus Young	205 GPa
	Rasio Poisson	0.3
	Modulus Geser	78.8462 GPa
NAMA BAGIAN	Sudu Runner	
STANDAR BAHAN	JIS G3101 Grade SS500	
SPESIFIKASI	Massa Jenis	7.73 g/cm ³
	Tegangan Yield	255 MPa
	Tegangan Tarik Maksimum	500 MPa
	Modulus Young	205 GPa
	Rasio Poisson	0.3
	Modulus Geser	78.8462 GPa

2.3 Uji Aliran

Aliran turbin diuji dengan debit air masuk ke runner (Q) = $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ = $0.033 \text{ m}^3/\text{det}$ dan tinggi jatuh air (H) = 5.5 m menggunakan *SolidWork Flow Simulation*



Gambar 8. Uji Aliran (a) Aliran air dengan debit Q dan tinggi H (b) Profil kecepatan dalam suku turbin

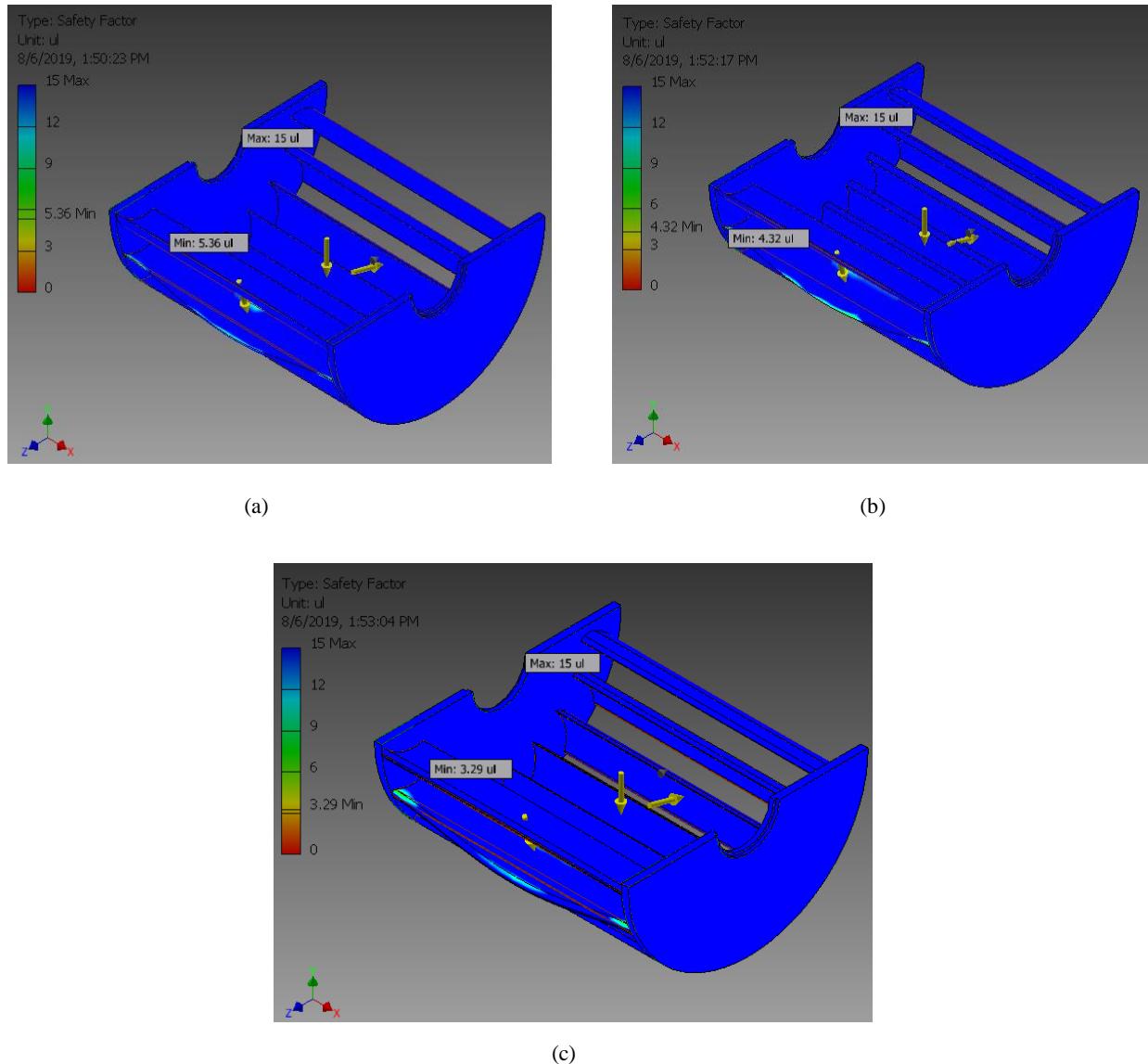
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Simulasi Software Autodesk Inventor

Setelah dilakukan analisa dan simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor* diperoleh hasil daerah runner berbahaya adalah daerah sisi pinggir dan tengah suku. Nilai tegangan gabungan Von Mises minimum dan maksimum, faktor keamanan (*safety factor*) minimum dan maksimum , perpindahan (*displacement*) minimum dan maksimum untuk varian PS-1, Varian PS-2 dan Varian PS-3 ditunjukkan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3: Tabel Hasil Simulasi Inventor

HASIL	VARIAN PS-1	VARIAN PS-2	VARIAN PS-3
<i>Von Mises Stress</i>	Min	0.002991 MPa	0.003940 MPa
	Max	47.356 MPa	59.05 MPa
<i>Displacement</i>	Min	0 mm	0 mm
	Max	0.0801251 mm	0.100385 mm
<i>Safety Factor</i>	Min	5.36	4.31
	Max	15	15

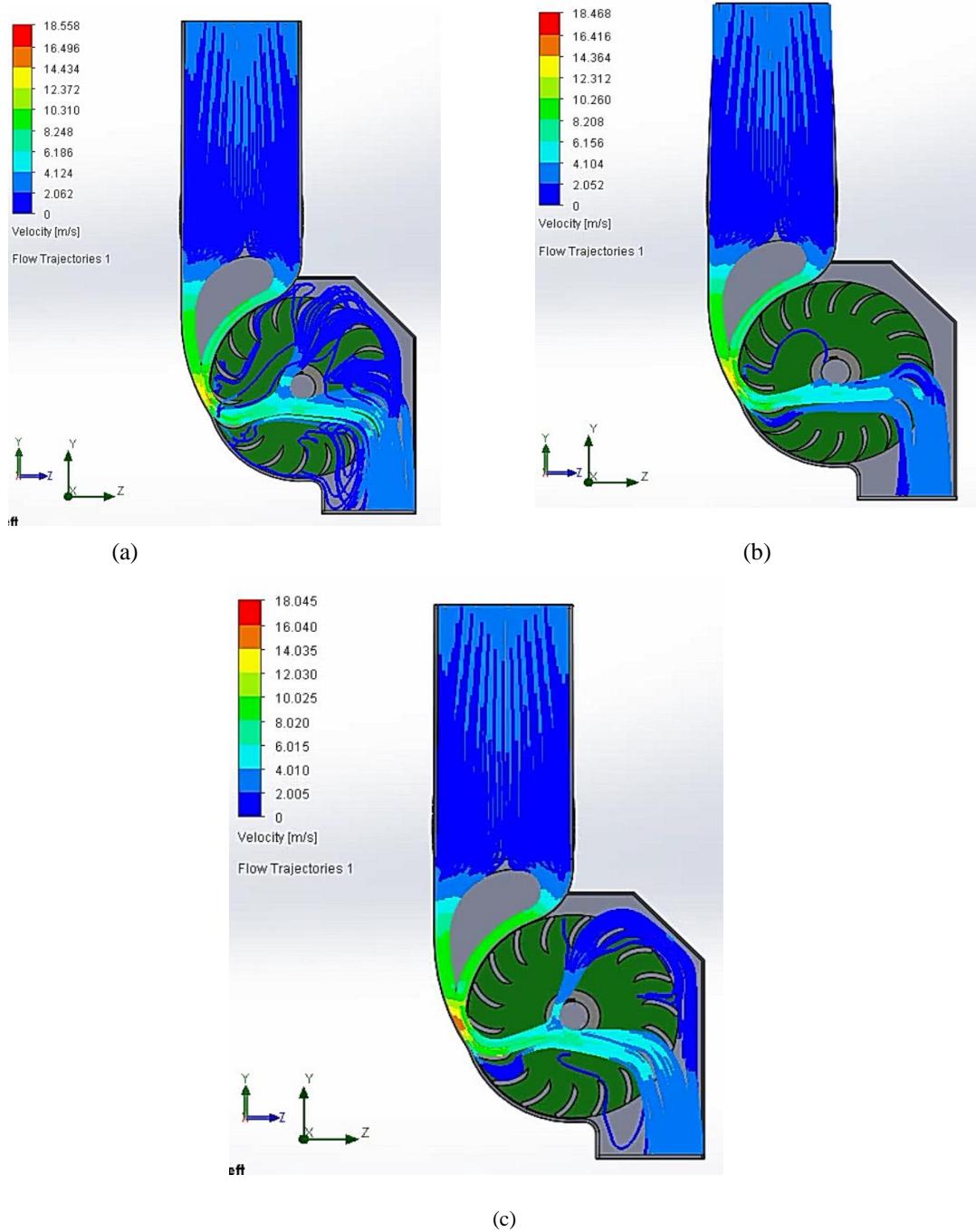


Gambar. 8 Hasil Faktor Keamanan *Runner* (a) Varian PS-1, (b) Varian PS-2, (c) Varian PS-3

Pada gambar 8 (b) terlihat bahwa varian PS-2 faktor keamanan minimumnya adalah 4,31 sedangkan maksimumnya 15. Hasil minimum ini mendekati nilai yang optimum yaitu 4. Pada gambar 8 (a) varian PS-1 faktor keamanan minimumnya adalah 5,336 jauh diatas nilai 4 artinya terlalu besar. Pada gambar 8 (c) varian PS-3 faktor keamanan minimumnya adalah 3,28 dibawah 4.yang artinya tidak memenuhi syarat. Titik berbahaya ada pada sisi pinggir dan tengah sudu yang merupakan daerah faktor keamanan minimum.

3.2 Hasil Simulasi Software CFD Solidworks Flow Simulation

Setelah dilakukan simulasi diperoleh aliran air dari beberapa varian sudu seperti gambar 9. dibawah ini :



Gambar 9. Lintasan Aliran Air (a) Varian PS-1, (b) Varian PS-2, (c) Varian PS-3

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa bentuk profil sudu mempengaruhi lintasan air (*flow trajectory*), varian PS-1 alirannya tidak seragam dan membentur poros, begitu juga varian PS-3. Pada varian PS-2 terlihat bahwa alirannya seragam dan hampir tidak membentur poros.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi tegangan gabungan Von Mises pada 3 varian diperoleh faktor keamanan (*safety factor*) minimum masing-masing sebesar, untuk varian PS-1 = 5,36, PS-2 = 4,31, PS-3 = 3,28, hasil yang optimum adalah varian PS-2, sedangkan lintasan air dari simulasi *CFD SolidWork Flow Simulation*, diperoleh varian PS-1 aliran tidak seragam dan membentur poros, PS-2 aliran seragam hampir tidak membentur poros, PS-3 aliran tidak seragam dan membentur poros. Jadi hasil yang terbaik adalah varian PS-2, nilai faktor keamanan mendekati 4, aliran air seragam dan hampir tidak membentur poros.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] MENTERI ENERGI SUMBER DAYA MINERAL RI NO.8, *Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Listrik Pedesaan Tahun Anggaran*, Jakarta, Kementerian ESDM RI, 2011.
- [2] MOCKMORE, C. A., & MERRYFIELD, F., "The Banki Water Turbine, Engineering Experiment Station of Oregon State College, Bulletin Series, v.25, n.2, 1949.
- [3] ZAR NI TIN, W., HTAY HTAY, W., & MYINT, T., "Design , Construction and Performance Test of Cross-Flow Turbine", International Journal of Mechanical And Production Engineering, v.4, n.12, pp. 95–100, 2016.
- [4] SOENOKO, R., PURNAMI, & UTAMI DEWI, F. G., "Second stage cross flow turbine performance", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, v.12, n.6, pp.1772–1779, 2017.
- [5] CASTAÑEDA, L., CARDONA, M., HINCAPIÉ, D., SIERRA, J., & VÉLEZ, S., "Influence of the Number of Blades in the Power Generated by a Michell Banki Turbine", International Journal of Renewable Energy Research, v.7, n.4, 2017.
- [6] SURYONO, E., & NUSANTARA, A., "Pembangkit Listrik Picohydro", Jurnal SIMETRIS, v.8, n.2, pp.547–552, 2017.
- [7] JASA, L., ARDANA, I. P., PRIYADI, A., & PURNOMO, M. H., "Selidiki Lengkung Sudut Blade Model Turbin Air Banki untuk Meningkatkan Efisiensi oleh Berarti Optimization Particle Swarm", v.7, n.1, 2017.
- [8] POPESCU, D. POPESCU, C. DRAGOMIRESCU, A., "Flow Control in Banki Turbines", ICEER Energy Procedia, 136, 2017.
- [9] MAFRUDDIN, M., & IRAWAN, D., "Pengaruh Diameter Dan Jumlah Sudu Runner Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow Turbo", Jurnal Program Studi Teknik Mesin, v.7, n.2, pp.223–229, 2018.
- [10] SINAGA, J. B., BURHANUDDIN, Y., & SULSITIYO, B., "Rancang Bangun Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Memanfaatan Energi Aliran Sungai Penyungkayan Di Dusun Penyungkayan Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung 1", pp.348–355, 2018.
- [11] CHATTHA, J. A., ZAFFAR, A., IBRAHIM, B., ASIF, M., & SARWAR, M. A., "Optimisation of blade profiles of cross flow turbine", International Journal of Power and Energy Conversion, v.9, n.4, pp.311, 2018.
- [12] RAMA, G., RUING, D., WEKING, A. I., JASA, L., Analisis Dan Perbandingan Segitiga Kerja : Turbin Sudu Setengah Lingkaran , Sudu Segitiga Dan Sudu Sirip Untuk, Jurusan Teknik Elektro,Universitas Udayana, v.62, pp.78–86, 2019.
- [13] FITRIANSYAH, WAHYUDI, S., WINARTO, Pengaruh Kedalaman Sudu Mangkok Terhadap Unjuk Kerja Turbin Kinetik, Jurnal Rekayasa Mesin, v.11, n.3, pp.323–329, 2020.
- [14] Autodesk Inventor Support and Learning, Calculation Formulas For Beams, <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor>. Diakses : Oktober 2018.
- [15] JUVINALL, R. C., & MARSHEK, K. M.. "Fundamentals of Machine Component Design", John Wiley & Sons, Inc. 111 River Street, Hoboken, NJ 07030-5774, 2012.
- [16] JIS HANDBOOK, "Ferrous Materials & Metallurgy English Version", ISBN 9784542137226, 2018.