

OPTIMASI DESAIN BUCKET TURBIN PELTON BERBAHAN KOMPOSIT RESIN MENGGUNAKAN SOLIDWORKS**Fadth Rizky Damanik¹, Muhamad Fitri¹**

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

E-mail: fadthfsy@gmail.com

Abstrak. Turbin Pelton salah satu jenis turbin air yang prinsip kerjanya memanfaatkan energi potensial air yang diubah menjadi energi kinetik untuk mendorong bagian dari bucket sehingga memutar turbin Pelton kemudian menghasilkan energi listrik. Prinsip kerjanya memanfaatkan daya fluida yang disalurkan melalui nosel untuk menghasilkan daya poros. Pembangkit Listrik Mikrohidro yang biasanya menggunakan turbin Pelton, perlu dikembangkan sampai ke pelosok-pelosok desa untuk pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia. Bucket turbin Pelton yang biasanya terbuat dari material logam, pada penelitian ini bucket menggunakan material komposit resin epoksi dengan ijuk. Untuk itu turbin Pelton bisa lebih mudah dibuat dibanding dari bahan logam, tidak perlu mesin khusus, tahan korosi, ringan, serta mudah perawatannya, yaitu dari bahan komposit. Hasil penelitian ini menunjukkan, komposit epoksi dengan penguat ijuk dengan fraksi volume ijuk 9% lebih memiliki kekuatan tarik yang besar dibanding 0%, 3%, 5%, 7%. Kekuatan tarik maksimal pada kandungan penguat ijuk 9% yaitu 32,6054 N/mm². Kemudian hasil kekuatan tarik di terapkan pada geometri bucket turbin Pelton dengan ukuran skala laboratorium yang telah divariasikan menjadi 3 ukuran yang berbeda, yaitu lebar mangkuk (b), tinggi mangkuk (h), dan tinggi mangkuk (h1). Semua variasi bucket skala lab memiliki faktor keamanan di atas batas minimumnya, sehingga material komposit dapat digunakan sebagai material bucket turbin Pelton. Pada 3 variasi ukuran tersebut dengan pembebanan 33,055 N berdasarkan perhitungan. Kemudian pada software solidworks disimulasikan ketiga variasi bucket tersebut dengan menggunakan metode Independent of Mesh untuk keseimbangan kekuatan data dan efisiensi waktu perhitungan. Variasi ke 3 yang mengungguli dari pada V-1 dan V-2 dengan deformasi yang minimum yaitu 0,07922 mm, tegangan 2,6670575 N/mm², regangan 0,000557, dan faktor keamanan 6,945.

Kata kunci: Turbin Pelton, Bucket, Komposit, Faktor Keamanan, Solidworks

Abstract. The Pelton turbine is a type of water turbine whose working principle is to utilize the potential energy of water which is converted into kinetic energy to push part of the bucket so that it rotates the Pelton turbine and then generates electrical energy. The working principle is to utilize the fluid power that is channeled through the nozzle to produce shaft power. Micro hydro power plants, which usually use Pelton turbines, need to be developed to remote villages to meet Indonesia's electricity needs. Pelton turbine buckets are usually made of metal material, in this study the bucket used an epoxy resin composite material with palm fiber. For this reason, Pelton turbines can be made more easily than metal materials, do not need special machines, are corrosion resistant, lightweight, and easy to maintain, namely from composite materials. The results of this study indicate that the epoxy composite with palm fiber reinforcement with a volume fraction of 9% palm fiber has greater tensile strength than 0%, 3%, 5%, 7%. Maximum tensile strength at 9% palm fiber reinforcement content is 32.6054 N/mm². Then the results of the tensile strength are applied to the Pelton turbine bucket geometry with laboratory scale sizes which have been varied into 3 different sizes, namely bowl width (b), bowl height (h), and bowl height (h1). All variations of the lab-scale bucket have a safety factor above the minimum limit, so that composite materials can be used as Pelton turbine bucket materials. In these 3 size variations with a loading of 33.055 N based on calculations. Then in the solidworks software the three variations of the bucket are simulated using the Independent of Mesh method for a balance of data strength and efficiency of calculation time. The 3rd variation outperforms V-1 and V-2 with minimum deformation of 0.07922 mm, stress of 2.6670575 N/mm², strain of 0.000557, and factor of safety of 6.945.

Keywords: Pelton Turbine, Bucket, Composite, Safety Factor, Solidworks

1. PENDAHULUAN

Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin air yang prinsip kerjanya memanfaatkan energi potensial air untuk membangkitkan energi listrik. Prinsip kerja turbin Pelton adalah memanfaatkan daya fluida dari air untuk menghasilkan daya poros [1]. Selanjutnya, putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik.

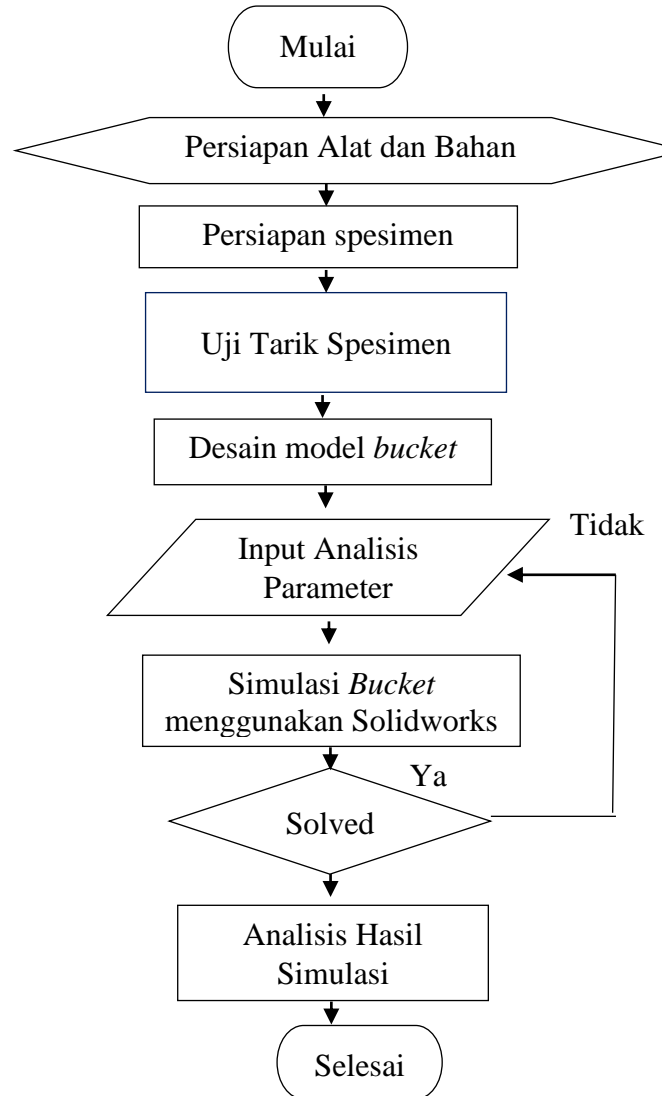
Turbin Pelton memiliki sudu cekungan, tekanan dari aliran air berubah menjadi gaya yang memberikan torsi untuk memutar roda turbin. Karenanya, bucket turbin Pelton harus kuat menahan gaya yang terjadi karena perubahan momentum pancaran air dari nozel.

Kebutuhan akan energi semakin hari semakin meningkat, mayoritas pembangkit listrik masih memanfaatkan bahan bakar fosil seperti batu bara yang memiliki keterbatasan penyediaan sehingga beberapa PLTU di Indonesia, sempat terjadi beberapa kali nyaris berhenti operasi karena kekurangan pasokan batu bara [2]. Pemanfaatan energi air sebagai sumber listrik sangat bermanfaat, terutama di daerah yang tidak ada listrik tetapi memiliki sumber daya air yang besar. Oleh karena itu, dikembangkanlah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang membutuhkan daya kecil (10-150 kW), cocok untuk turbin Pelton [3]. Bucket yang didesain menggunakan material komposit serat ijuk dengan bahan matriks resin epoksi. Resin sebagai matriks mempunyai fungsi sebagai pengikat, sebagai pelindung struktur komposit, memberi kekuatan pada komposit dan bertindak sebagai media transfer tegangan yang diterima oleh komposit serta melindungi serat dari abrasi dan korosi [4]. Gabungan dua material tersebut mempunyai fungsi masing-masing, matriks berfungsi sebagai pengikat sedangkan serat berfungsi sebagai penguat, sehingga komposit tersebut menghasilkan material baru yang ringan dan kuat [5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses penelitian optimasi desain *bucket* material komposit untuk menganalisis spesifikasi dari material komposit yang dijadikan sebagai bucket turbin pelton untuk mendapatkan hasil kekuatan,

regangan, deformasi, dan faktor keamanan dengan pembebanan 33,055 Newton dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2018, ditampilkan pada gambar Gambar 1. Diagram alir penelitian.



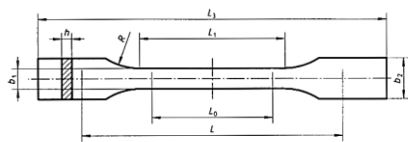
Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Alat dan Bahan.

Alat dan bahan yang berkaitan dengan penelitian untuk mendukung proses penelitian. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ijuk (Arenga pinnata, resin epoksi, hardener, spesimen uji tarik menggunakan ukuran standar ISO 527, Timbangan presisi, Mesin uji Tarik, serta laptop dengan perangkat lunak Solidworks.

2.2 Sampel.

Sampel komposit yang digunakan pada penelitian ini adalah dari bahan resin epoksi sebagai *matriks* dan serat ijuk sebagai penguat. Cetakan spesimen terbuat dari material PLA (*Polylactic Acid*) yang dibuat menggunakan mesin 3D *printing*. Metode pembuatan spesimen komposit ini adalah *handy lay up* dengan ijuk yang memanjang dengan ukuran 130 mm - 150 mm. Spesimen dibuat mengikuti ukuran standar ISO 527 [6]. Dimensi spesimen yang dibuat ditunjukkan pada gambar 2, dimana panjang specimen >150mm, *Gauge length* 50±5 mm, panjang area tengah yang lurus 10±0.2 mm, dan ketebalan 2 sampai 10 mm.



Dimensions in millimetres		
L ₀	Overall length	≥ 150 ¹⁾
L ₁	Length of narrow parallel-sided portion	60 ± 0,5
R	Radius	≥ 60 ²⁾
b ₂	Width at ends	20 ± 0,2
b ₁	Width of narrow portion	10 ± 0,2
h	Thickness	2 to 10
L ₂	Gauge length (recommended for extensometers)	50 ± 0,5
L	Initial distance between grips	115 ± 1

Gambar 2. Ukuran spesimen

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji tarik, dengan material yang diuji merupakan komposit dimana serat ijuk sebagai penguat dan resin epoksi sebagai matriksnya. Pembebanan yang diberikan pada benda yaitu memberikan gaya tarik berlawanan arah pada kedua sisi spesimen yang dipasangkan ke *chuck* alat uji tarik yang mengakibatkan deformasi pada spesimen tersebut dan hasil data uji tarik adalah mengenai tegangan [7].

Hasil kekuatan tarik akan diperoleh dengan persamaan berikut [8] :

$$\sigma = \frac{F}{(b \times d)} = \frac{F}{A_0} \tag{1}$$

Keterangan :

σ : Kekuatan tarik (N/mm²)

- F: Beban maksimum (N)
- b: Lebar (mm)
- d: Tebal (mm)
- A₀: Luas penampang (mm²)

Ringkasan spesifikasi alat uji yang digunakan untuk penelitian ini, ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi alat uji

Spesifikasi	Ukuran
Power [Nm/s]	29.81
Debit [m ³ /s]	0.00108
Kecepatan mutlak jet [m/s]	9.59
Diameter lingkaran tusuk/ PCD[mm]	179.5
Kecepatan [rpm]	96

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi menggunakan metode *static*, dalam simulasi diberikan pembebanan yang dengan persamaan berikut:

$$F = \frac{P}{2\pi \cdot R \cdot n} = \frac{29.81 \text{ Nm/s}}{6.28 \cdot 0.08975 \text{ m} \cdot 1.6 \text{ r/s}} = 33,055 \text{ N} \tag{2}$$

Keterangan:

- P : Daya (Watt)
- T : Torsi(N.m)
- ω : Kecepatan sudut (rad/s)
- R : Radius (meter)
- F : Force (Newton)
- π : 3,14
- n : Putaran per detik

3.1 Pengujian Kuat Tarik Sampel

Dalam penelitian ini dilakukan menggunakan 5 sampel komposit dengan komposisi kandungan serat 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% persentase volume. Berikut ini hasil dari pengujian sampel uji tarik menggunakan mesin Tensilon.

Tabel 2. Kekuatan Tarik komposit dengan penguat 9%

Nomor Spesimen	Beban Maksimum [N]	Kuat Tarik [N/mm ²]	Modulus Elastisitas [N/mm ²]
1	1417.2	32.496	2315.9
2	1521.8	35.884	3289.4

3	1384.1	33.158	2791
4	1303.5	29.01	2492.6
5	1296.2	32.479	2371.8

3.2 Kekuatan Luluh Sampel

Kekuatan luluh pada sample ditentukan menggunakan metode offset [8][9], yaitu dengan menggambar garis lurus pada kurva yang berimpit dengan garis pada saat spesimen mengalami deformasi elastis sampai kemudian kurva uji tarik terpisah dengan garis lurus. Ini menandakan bahwa deformasi pada sample mengalami perubahan dari elastis ke plastis. Titik inilah yang dinyatakan sebagai titik kekuatan luluh sample specimen yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 tampak bahwa rata-rata kekuatan luluh dari 5 sampel adalah 18.55N/mm².

Tabel 3. Yield strength sampel

Sampel no.	Yield Strength [N/mm ²]
1	19.18
2	19.91
3	19.89
4	15.76
5	18.02
Rata-rata	18.55

3.3 Geometri Bucket.

Gaya yang bekerja pada sudu akrobat pancaran air dari nozzle berubah arah setelah mengenai sudu, arah laju aliran berubah, sehingga terjadi perubahan momentum, gaya ini disebut gaya impuls [10]. Geometri bucket turbin Pelton dengan ukuran skala laboratorium yang telah divariasikan menjadi 3 ukuran yang berbeda, yaitu lebar mangkuk (b), tinggi mangkuk (h), dan tinggi mangkuk (h1) berdasarkan hasil perhitungan ukuran bucket turbin Pelton[11].

Tabel 4. Variasi ukuran bucket

Keterangan	Model 1 [mm]	Model 2 [mm]	Model 3 [mm]
Lebar mangkuk (b)	35.9	32.4	38.4
Tinggi mangkuk (h)	32.4	30	25.2
Tinggi mangkuk (h1)	2.3	3	4.2

$$b = (2.5 \sim 3.2) \times d \text{ \{ 3 nilai yang digunakan yaitu 3.0, 2.7, 3.2\}} \tag{3}$$

$$h = (2.7 \sim 2.7) \times d \text{ \{ 3 nilai yang digunakan yaitu 2.7, 2.5, 2.1\}} \tag{4}$$

$$h_1 = (0 \sim 0.35) \times d \text{ \{ 3 nilai yang digunakan yaitu 0.19, 0.25, 0.35\}} \tag{5}$$

Diameter nozzle mempengaruhi dimensi konstruksi turbin Pelton secara keseluruhan terutama dimensi sudu. Untuk menentukan diameter jet optimal (d) terkait dengan penelitian sebelumnya menggunakan persamaan berikut [12]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times C_1}} \tag{6}$$

Keterangan :

d : Diameter optimum nosel (mm)

Q : Debit (m³/s)

C₁ : Kecepatan mutlak jet (m/s)

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.00108 \text{ m}^3/\text{s}}{3.14 \times 9.59 \text{ m/s}}}$$

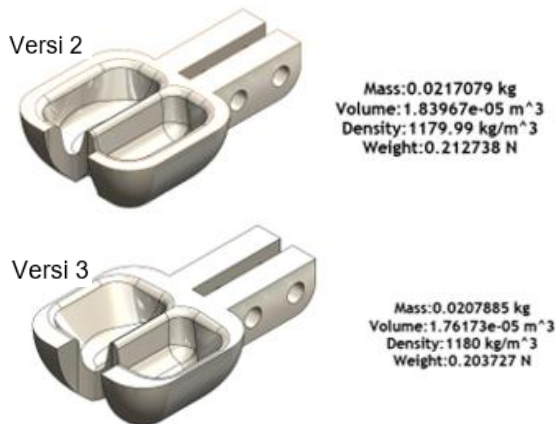
$$d = \sqrt{\frac{0.00432 \text{ m}^3/\text{s}}{30.11 \text{ m/s}}}$$

$$d = 0.01199 \text{ m}$$

$$d = 11.99 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

Berdasarkan tabel di atas, spesifikasi data untuk Pelton V-1, V-2, dan V-3 telah ditampilkan. Penggunaan Solidworks sendiri sudah banyak digunakan dalam menganalisis dan menyimulasikan berbagai rancangan pada berbagai aplikasi keteknikan, Solidworks merupakan software yang digunakan untuk merancang suatu produk, mesin atau alat [13]. Geometri yang diterapkan pada perangkat lunak analisis sudah mengikuti persamaan perhitungan yang sebenarnya dari persamaan yang ditentukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.





Gambar 3. Spesifikasi geometri bucket

3.4 Analisis Data.

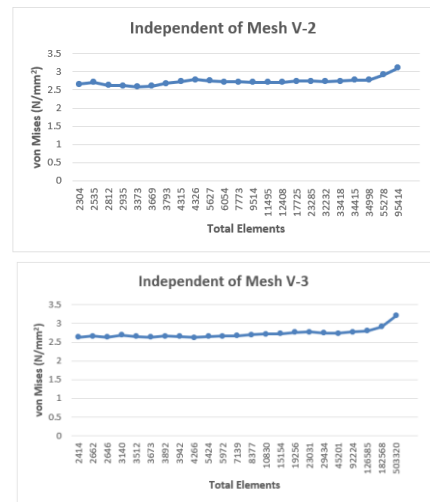
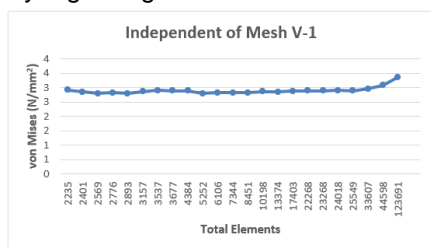
Ada 3 analisis data yang dihasilkan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- a. Nilai dari tegangan, regangan, and deformasi yang terjadi pada bucket turbin Pelton dari 3 desain yang berbeda menggunakan perangkat lunak Solidworks.
- b. Faktor keamanan dari bucket.

3.5 Independent of Mesh.

Validitas penelitian ini dipastikan menggunakan metode Independent of mesh agar menghasilkan keakuratan hasil serta mengefisienkan waktu calculating pada software Solidworks [14]. Mesh independen atau pembagian elemen independen dilakukan agar hasil akhir efisien dalam waktu perhitungan dan akurat dalam hasil, karena jika ukuran elemen besar waktu perhitungan semakin cepat namun hasil tidak akurat, sedangkan jika ukuran mesh terlalu kecil maka waktu perhitungan semakin lama namun hasil tidak akurat, maka dari itu agar waktu perhitungan tidak terlalu lama dan hasil akurat maka dilakukan metode ini [15].

Independent of mesh ditunjukkan pada gambar 4 untuk melihat perbedaan jumlah elemen yang mengikuti ukuran mesh.



Gambar 4. Independent of Mesh bucket versi 1,2 & 3

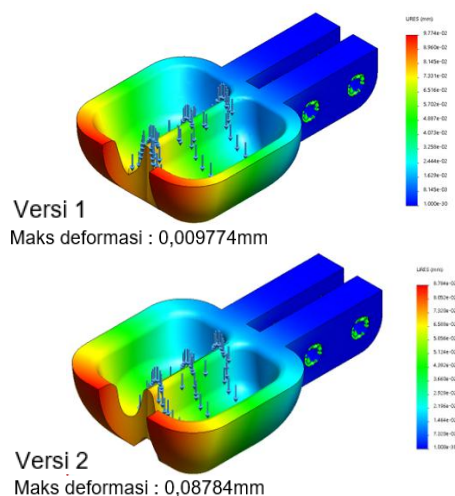
Berdasarkan gambar 4 kemudian diambil titik-titik yang berada dalam kondisi stabil, yang tercantum pada Tabel 5.

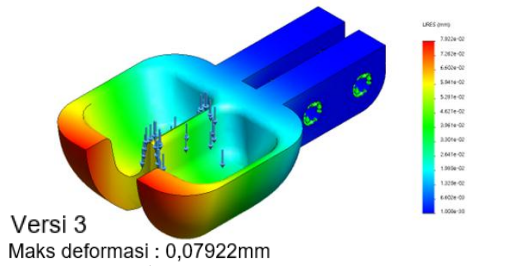
Table 5. Ukuran mesh bucket

Model bucket	Ukuran Mesh [mm]	Von Mises [N/mm ²]	Total Elemen
1	2.8	2.8214175	7344
2	1.8	2.7417185	23285
3	2.8	2.6670575	7139

3.6 Deformasi, tegangan, regangan, dan faktor keamanan.

Gambar 5 menunjukkan hasil deformasi terjadi pada simulasi dari 3 bucket model dengan material komposit resin epoksi dengan ijuk yaitu 33.055 N.

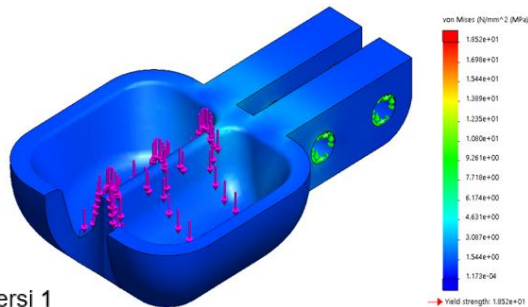




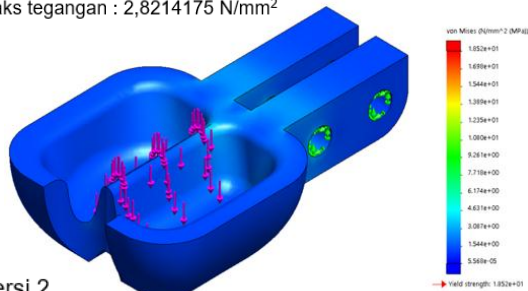
Versi 3
Maks deformasi : 0,07922mm

Gambar 5. Hasil deformasi bucket

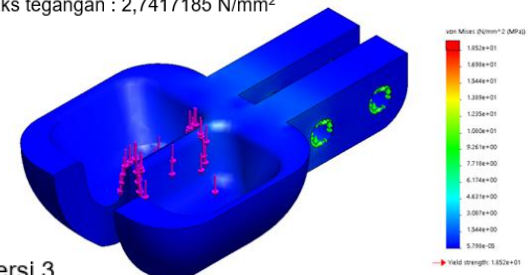
Berdasarkan hasil simulasi, deformasi dari pada bucket mode ke-3 mengalami sedikit deformasi, karena sedikit lebih tebal dari model lainnya.



Versi 1
Maks tegangan : 2,8214175 N/mm²



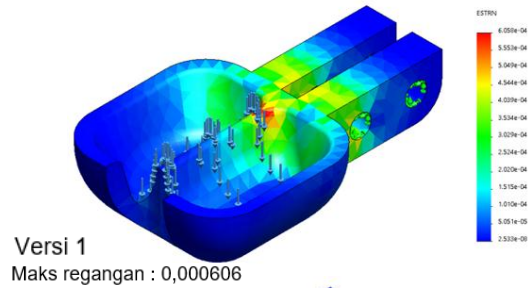
Versi 2
Maks tegangan : 2,7417185 N/mm²



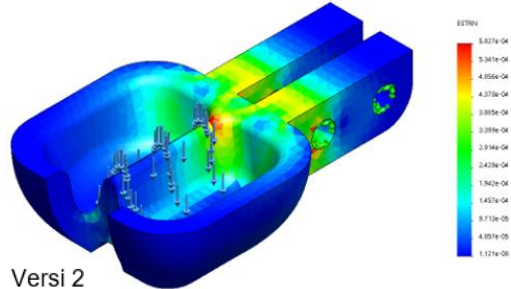
Versi 3
Maks tegangan : 2,6670575N/mm²

Gambar 6. Hasil tegangan bucket

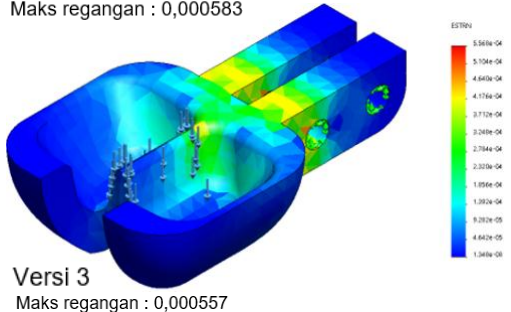
Berdasarkan hasil simulasi, tegangan dari pada bucket mode ke-3 mengalami sedikit tegangan, karena sedikit lebih tebal dari model lainnya.



Versi 1
Maks regangan : 0,000606



Versi 2
Maks regangan : 0,000583



Versi 3
Maks regangan : 0,000557

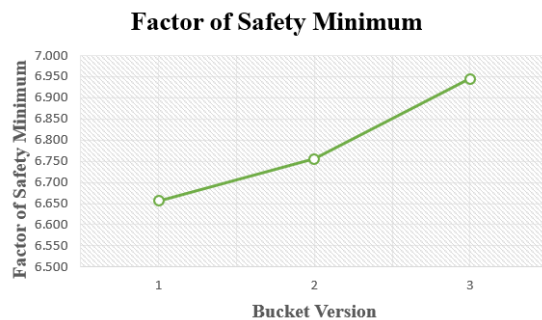
Gambar 7. Hasil regangan bucket

Berdasarkan hasil simulasi, tegangan dari pada bucket mode ke-3 mengalami sedikit regangan, karena sedikit lebih tebal dari model lainnya.

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan suatu mesin [16]. Faktor keamanan adalah perbandingan antara tegangan ijin material dengan tegangan yang terjadi. Minimum faktor keamanan pada penelitian ini yaitu 4,0 atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan [17]. *Factor of Safety* (FOS) = $\sigma_{limit} / \sigma_{von Mises}$ berarti bahwa, pada tegangan luluh, tegangan geser maksimum pada geser adalah $\sqrt{3}$ kali lebih rendah daripada tegangan luluh dalam kasus simulasi sederhana. [18].

Berdasarkan hasil analisa gambar 6, bucket V-3 paling kuat menahan beban 33,055 N dengan metode dengan *safety factor* minimal 6,945,

kemudian posisi kedua ditempati oleh versi V-2 dari *bucket* dengan *safety factor* sebesar 6.756, kemudian posisi terakhir dari *bucket* V-1 dengan *safety factor* terkecil sebesar 6.656.



Gambar 8. Grafik faktor keamanan *bucket*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan data yang telah dianalisis, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik material komposit resin epoksi dengan ijuk dengan kandungan 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9% menggunakan ukuran spesimen standar ISO 527 memiliki kekuatan tarik yang besar adalah kandungan serat 9% dengan modulus elastisitas 2652,14 N/mm², *yield strength* 18,552 N/mm², dan *tensile strength* 32,496 N/mm².
2. Simulasi menggunakan *software* solidworks pada *bucket* V-1, *bucket* V-2, dan *bucket* V-3 menggunakan material komposit resin epoksi dengan serat ijuk menghasilkan *bucket* V-3 sebagai yang terbaik dengan memiliki nilai tegangan 2,6670575 N/mm² jauh dari nilai kekuatan luluh materialnya. Nilai regangan 0,000557 lebih kecil dari nilai regangan *bucket* V-1 dan V-2, dan deformasi terkecil juga terjadi pada *bucket*-V-3 senilai 0,07922 mm.
3. Model desain yang terbaik berdasarkan nilai *safety factor* dari yang terbesar adalah *bucket* V-3 dengan *safety factor* minimum 6,945, kemudian *bucket* V-2 dengan *safety factor* minimum 6,756, dan *bucket* V-1 dengan *safety factor* minimum 6,656.

4.2 Saran

Setelah dilakukan pengujian analisis *bucket* turbin Pelton menggunakan *software* Solidworks, terdapat beberapa saran:

1. Dalam melakukan analisis desain terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu pada saat melakukan pemodelan *bucket* perhatikan dimensi yang digunakan agar sesuai aturan perhitungan.
2. Lebih variatif lagi pada material dan permodelan yang digunakan sehingga diketahui material dan geometri yang cocok untuk sebuah *bucket* turbin Pelton yang memiliki material serat alam yang tidak terpakai agar mengurangi sampah, memiliki massa yang ringan namun memiliki faktor keamanan yang baik.
3. Saat melakukan perhitungan analisis, memastikan kembali semua komponen perhitungan sudah sesuai dengan prosedur analisis dan teliti sehingga didapatkan hasil yang akurat.
4. Saat melakukan analisis pada *software*, memastikan posisi *fixed* dan *external loads* sesuai dengan tempat pembebanan supaya tempat pembebanan maksimal atau daerah kritis menghasilkan data yang akurat, kemudian melakukan *independent of mesh* agar ukuran *mesh* menghasilkan data yang akurat dan efisien.

Daftar Pustaka

- [1] H. S. R. Q. Irawan, "Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Buka-an Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter," *J. Has. Penelit. LPPM Untag Surabaya Januari*, vol. 03, no. 01, pp. 27–31, 2018.
- [2] Cahyadi, "Kajian Teknis Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Fosil," *Ilm. Teknol. Energi*, vol. 1, no. 12, pp. 21–32, 2011.
- [3] Y. Jung, I. H., Kim, Y. S., Shin, D. H., Chung, J. T., and Shin, "Influence of spear needle eccentricity on jet quality in micro Pelton turbine for power generation," *Sch. Mech. Eng. Korea Univ.*, 2019.
- [4] M. W. Hyer, "Stress Analysis of Fiber-reinforced Composite Materials," *The McGraw-Hill Companies.*, 1998.
- [5] S. Fitri, Muhamad & Mahzan, "The effect

- of fibre content, fibre size and alkali treatment to Charpy impact resistance of Oil Palm fibre reinforced composite material," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 160, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/160/1/012030.
- [6] International Standard ISO 527, *ISO 527-4 - Determination of tensile properties of plastics Part 4*, no. 1109. 1997.
- [7] A. Prihatno, "Analisa Pengaruh Letak Susunan Serat Ampas Tebu (Baggase) Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Epoxy," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 3, p. 173, 2020, doi: 10.22441/jtm.v9i3.9792.
- [8] R. Kartini, H. Darmasetiawan, A. K. Karo, and Sudirman, "Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 3, no. 3, pp. 30–38, 2002.
- [9] H. D. Young and T. R. Freedman, *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1*, 10th ed. Erlangga, 2002.
- [10] O. G. & S. E. Tamba, "Rancang bangun dan pengujian turbin pelton berskala laboratorium dengan model variasi sudut bucket," vol. 7, no. 1, pp. 32–43, 2021.
- [11] M. Eisenring, Markus; Edy Sunarto, *Turbin pelton mikro*. Andi Offset, 1994.
- [12] R. Setiawan, "Rancang Bangun Alat Peraga Sederhana Sistem Turbin Pelton dengan Mengaplikasikan CAD/CAM dan 3D Printing," *Tek. Mesin Univ. Islam Indones.*, 2017.
- [13] N. Maulana, "Perancangan Dan Simulasi Struktur Rangka Overhaul Stand Untuk Penggunaan Assembly Dan Diassembly Hydraulic Cylinder Menggunakan Software Solidwork," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 38, 2021, doi: 10.22441/jtm.v10i1.10778.
- [14] B. Shi, "Abaqus vs . SolidWorks : Dawn of FEA Department of Mechanical Engineering," Imperial College London, 2021.
- [15] M. Shah, G. R. Kishheorey, and K. S. Chouhan, "Modelling, Fabrication & Analysis of Pelton Turbine for Different Head and Materials," *Ijcer*, vol. 07, no. 02, pp. 1–17, 2017, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/313647069_Modelling_Fabrication_Analysis_of_Pelton_Turbine_for_Different_Head_and_Materials/download.
- [16] N. A. Sutisna, M. F. Aulia, and A. Akbar, "FEM Simulation of Electric Car Chassis Design with Torsional Bar Technology FEM Simulation of Electric Car Chassis Design with Torsional Bar Technology," 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.33021/jmem.v3i2.542>.
- [17] R. L. Mott, *Machine Elements in Mechanical Design*. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2004.
- [18] Solidworks, "Maximum von Mises Stress Criterion," *Dassault Systèmes*, 2015. https://help.solidworks.com/2015/English/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm.