



Analisis Desain dan Rangka Alat Praktikum Turbin Ulir untuk Pembelajaran Energi Terbarukan

Muhammad Isro Diyanto¹, Rahmat Dadang²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : ¹dosen01293@unpam.ac.id, ²dosen01440@unpam.ac.id

Masuk: 14 Agustus 2025

Direvisi: 07 November 2025

Disetujui: 14 November 2025

Abstract: The Pico Hydro Power Plant (PLTPH) practical equipment in the campus laboratory is used as a learning tool for simple hydro power systems. The learning activities generally include analyzing turbine performance, turbine/generator efficiency, and turbine design. However, structural and material analysis of the frame that supports the PLTPH system is rarely conducted. The design and material structure are crucial for ensuring the robustness, stability, and response of the frame in supporting PLTPH components. In the context of extending equipment lifespan and achieving more precise design, this study aims to analyze the frame design of the PLTPH practical equipment. A quantitative method was used based on the AISI/ASTM material datasheet. The technical specifications of PLTPH components served as a reference in designing the frame, and the datasheet was used to determine the mechanical properties of the material. Low-head water energy resources are rarely utilized due to limited access to advanced technology, thus technological development is needed to convert water potential energy into electricity. The screw turbine frame design is expected to support a micro-hydro power system using a screw turbine as a generator driver with a cost-effective configuration. The screw turbine converts water potential energy into kinetic energy through its blades. The literature review was conducted by searching, reading, and examining relevant sources such as journals and technical papers. Manufacturing and testing were carried out directly on the screw turbine frame. The design results show that the frame is made from 3 mm thick angle iron with a length of 195 cm, a height of 100 cm, and a width of 40 cm. The frame has a static force of 49 N, a stress value of 6.28205 N/mm², and a strain of 0.03141025 mm.

Keywords: Screw Turbine Frame Design, Mechanical Properties, Frame Strength.

Abstrak: Alat praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) di laboratorium kampus digunakan sebagai pembelajaran sistem sederhana dari *hydro power*. Pembelajaran yang dilakukan umumnya meliputi menganalisis kinerja turbin, efisiensi turbin/generator, dan perancangan turbin. Pendekatan analisis struktur desain dan material pada sistem rangka yang menopang PLTPH jarang dilakukan. Struktur desain dan material merupakan bagian penting dari kekokohan, stabilitas, serta respons rangka dalam menahan beban komponen PLTPH. Dalam konteks memperpanjang umur kinerja alat dan perancangan yang lebih presisi, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain rangka alat praktikum PLTPH. Pada penelitian ini digunakan metode kuantitatif berdasarkan *datasheet* material AISI/ASTM. Spesifikasi teknis komponen PLTPH dijadikan acuan dalam merancang desain rangka. *Datasheet* digunakan untuk mengetahui sifat mekanik material. Sumber daya potensial energi air dengan *head* rendah atau ketinggian yang sangat rendah yang jumlahnya sedikit digunakan sebagai sumber energi, dikarenakan aksesibilitas teknologi canggih untuk memanfaatkannya masih terbatas. Dengan demikian, diperlukan potensi kemajuan teknologi untuk mengelola energi air menjadi energi listrik. Desain rangka turbin ulir diharapkan dapat menyediakan pembangkit listrik mikrohidro yang menggunakan turbin ulir sebagai penggerak generator dengan biaya yang lebih hemat. Turbin ulir memanfaatkan energi potensial air yang diubah oleh bilah menjadi energi kinetik melalui sudu. Penelusuran pustaka dilakukan dengan mencari, membaca, dan memahami sumber-sumber terkait seperti jurnal dan karya tulis. Pembuatan serta pengujian dilakukan secara langsung pada rangka turbin ulir. Hasil desain menunjukkan bahwa rangka turbin ulir dibuat dari besi siku tebal 3 mm dengan panjang 195 cm, tinggi 100 cm, dan lebar 40 cm. Rangka memiliki gaya statis 49 N, tegangan 6,28205 N/mm², dan regangan 0,03141025 mm.

Kata kunci: Desain Rangka Alat Praktikum Turbin Ulir, Sifat Mekanik Material, Kekuatan Rangka.

PENDAHULUAN

Salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan adalah energi air, yang memiliki peranan penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Untuk mencapai pengoperasian PLTA yang optimal dan efisien, dibutuhkan tenaga kerja yang memiliki keterampilan memadai. Oleh karena itu, institusi pendidikan perlu menyediakan sarana dan prasarana pembelajaran yang memadai, khususnya bagi mahasiswa yang mempelajari teknologi PLTA. Salah satu sarana pendukung tersebut adalah alat praktikum berskala kecil (*pico hydro*) yang digunakan sebagai media pembelajaran dalam laboratorium energi terbarukan di lingkungan kampus.

Berdasarkan Surat Edaran Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 458.Pers/04/SJI/2021 dan Kebijakan Energi Nasional dalam Peraturan Presiden RI No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Pemerintah Indonesia menargetkan pemanfaatan energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Target ini diharapkan terus meningkat hingga mencapai 31,2% pada tahun 2050 [1], [2]. Menyikapi kebijakan tersebut, seluruh elemen masyarakat perlu mengambil langkah konkret dalam mendukung transisi menuju Energi Baru Terbarukan (EBT), mengingat Indonesia memiliki potensi EBT yang besar. Potensi ini meliputi energi matahari yang tersedia sepanjang tahun, energi air yang berlimpah dari sungai, irigasi, dan wilayah pegunungan di berbagai pulau, serta energi angin [3].

Alat praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro (PLTPH) kini mulai banyak digunakan di berbagai laboratorium kampus di Indonesia. Beragam jenis turbin digunakan, seperti turbin *crossflow*, *pelton*, dan lainnya. Penelitian yang dilakukan umumnya berfokus pada desain turbin, perhitungan efisiensi turbin dan generator, serta analisis kinerja sistem. Namun, kajian terhadap aspek material dan desain struktur rangka alat PLTPH masih sangat terbatas [4], [5].

Beberapa penelitian sebelumnya belum secara mendalam membahas pemilihan material dan perhitungan struktur desain rangka [6]–[8]. Padahal, pemilihan material sangat penting karena harus mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar serta beban yang ditopang oleh sistem. Pemilihan material yang tepat akan memengaruhi bentuk desain dan dapat menekan biaya produksi sekaligus memperpanjang usia pakai alat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pembebanan rangka dari komponen-komponen PLTPH dengan harapan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi PLTPH yang berkelanjutan berupa prototipe alat peraga praktikum di Laboratorium Teknik Mesin sebagai media pembelajaran [1].

Turbin ulir bekerja dengan prinsip kebalikan dari pompa ulir. Jika pompa ulir digunakan untuk mengangkat air, maka turbin ulir memanfaatkan aliran dan massa air untuk menghasilkan putaran. Dinamo yang biasanya menggerakkan pompa digantikan oleh aliran air sebagai penggerak utama, dan energi mekanik dari turbin dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Secara teoritis, turbin ulir dapat mencapai efisiensi hingga 90%. Namun, efisiensi aktual di lapangan biasanya lebih rendah karena berbagai faktor, seperti gesekan aliran yang sering tidak diperhitungkan dalam perhitungan teoritis.

Awalnya, turbin ulir merupakan inovasi dari pompa Archimedes yang difungsikan sebagai pompa air. Karena keterbatasan lokasi dengan *head* tinggi dan krisis energi, sejak tahun 2007 pompa ini dimodifikasi agar dapat dioperasikan menggunakan aliran air dengan tambahan generator, sehingga memungkinkan pembangkitan listrik tanpa merendam generator [2]. Rancang bangun turbin ulir diharapkan menjadi solusi mikrohidro hemat biaya yang dapat menggantikan sistem konvensional. Dalam proses perancangannya, perlu diperhatikan beberapa faktor penting seperti kemiringan turbin, panjang poros, dan sudut sudu guna memperoleh output daya maksimal [3].

Dengan bantuan generator, turbin berfungsi sebagai komponen mekanik yang mengubah energi potensial air menjadi energi listrik melalui konversi ke energi kinetik oleh sudu turbin [9]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun kerangka untuk alat peraga praktikum turbin ulir, dengan harapan masyarakat, khususnya mahasiswa, dapat lebih memahami teknologi turbin ulir. Fokus penelitian ini diarahkan pada aspek struktur rangka alat praktikum turbin ulir.

METODOLOGI

Metode Penelitian

Secara umum, metodologi penelitian mengacu pada proses melakukan pemeriksaan, pengujian, dan simulasi. Sampai kelayakan operasi ditetapkan, teknik penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data melalui observasi visual, pengumpulan data desain teknik, pengambilan sampel bahan uji, pengujian, inspeksi lapangan,

dan studi literatur untuk membantu memvalidasi hipotesis, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan analisis.

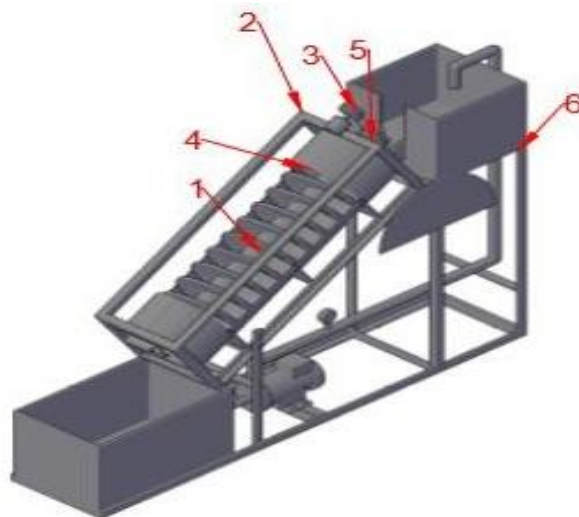
Diagram Alir Penelitian

Berikut ini diuraikan langkah-langkah yang digunakan dalam proses penelitian untuk mencapai desain rangka turbin yang tepat pada saat membangun rangka turbin:

1. Penentuan Masalah
Mengidentifikasi dan merumuskan batasan masalah serta tujuan yang ingin dicapai dalam perancangan rangka turbin.
2. Studi Literatur
Mengumpulkan data dan teori terkait desain turbin, pemilihan material, analisis tegangan-regangan, serta standar yang relevan.
3. Perancangan Rangka
Melakukan perancangan geometri rangka, menentukan dimensi, dan memilih material yang sesuai berdasarkan hasil studi literatur.
4. Pembuatan dan Perakitan Rangka
Menerjemahkan desain menjadi bentuk fisik, meliputi proses fabrikasi, pengelasan, dan perakitan komponen rangka.
5. Perhitungan Kekuatan, Tegangan, dan Regangan
Melakukan analisis numerik atau simulasi (misalnya menggunakan metode *Finite Element Method*) untuk menghitung distribusi tegangan dan regangan pada rangka akibat beban operasional.
6. Evaluasi Kelayakan Operasional
Menganalisis hasil perhitungan tegangan dan regangan dengan membandingkannya terhadap kekuatan izin material (*yield strength*) guna menentukan faktor keamanan dan kelayakan operasional rangka.
7. Kesimpulan dan Saran
Menyajikan hasil akhir penelitian (kelayakan rangka) dan memberikan saran untuk pengembangan desain atau penelitian selanjutnya.

Desain Gambar Alat

Desain gambar turbin ulir digambar menggunakan perangkat lunak *AutoCAD*. Desain turbin ulir dapat dilihat pada Gambar 1.



Nama Alat

Turbin *Archimedes Screw*

Keterangan Gambar:

1. Turbin *screw*
2. Rangka penyangga turbin
3. Transmisi sabuk-V
4. Casing turbin
5. Poros turbin
6. Rangka penyangga bak air

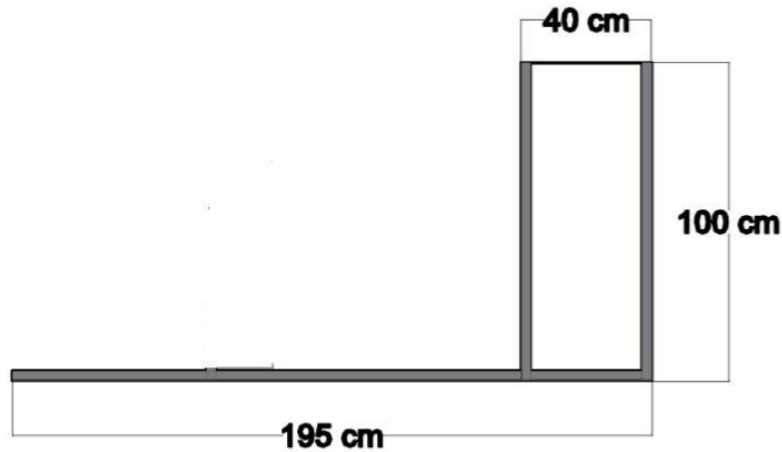
Gambar 1. Desain Rangka Turbin Ulir Beserta Komponen Utamanya

Desain Gambar Sketsa Rangka

Desain rangka turbin ulir merupakan tahap krusial dalam memastikan integritas struktural dan fungsionalitas sistem turbin secara keseluruhan. Pada tahap ini, proses perancangan dimulai dengan membuat sketsa awal menggunakan perangkat lunak *AutoCAD*. Pemilihan *AutoCAD* didasarkan pada kemampuannya yang mumpuni dalam membuat gambar teknik 2D dan 3D dengan presisi tinggi serta kemudahan dalam melakukan modifikasi desain.

Sketsa rangka turbin ulir ini berfokus pada visualisasi komponen-komponen utama yang akan menopang mekanisme ulir turbin. Desain sketsa mencakup identifikasi titik-titik tumpuan utama, penentuan dimensi awal elemen-elemen struktural seperti balok penyangga dan kolom, serta perkiraan jalur penempatan poros turbin. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi awal yang optimal sebelum dilakukan analisis lebih lanjut terkait kekuatan dan material.

Gambar 2 menyajikan detail sketsa rangka turbin ulir yang telah dibuat menggunakan *AutoCAD*, menunjukkan tata letak dan dimensi fundamental sebagai dasar pengembangan desain selanjutnya.



Gambar 2. Sketsa Rangka

Pengambilan Data

Pengambilan data spesifikasi pada rangka alat peraga praktikum turbin ulir memiliki tujuan utama untuk memverifikasi dan menentukan apakah desain rangka unit memenuhi kriteria ketahanan struktural yang dipersyaratkan. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan kemampuan material rangka dalam menahan beban (kekuatan luluh) terhadap beban kerja maksimum yang terjadi selama operasional alat peraga. Hal ini sangat krusial untuk menjamin keamanan pengguna dan umur pakai (*service life*) alat peraga dalam jangka panjang. Pengambilan data spesifikasi rangka alat peraga praktikum turbin ulir dilakukan untuk menentukan apakah rangka memenuhi ketentuan ketahanan struktural. Standar spesifikasi rangka ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rangka

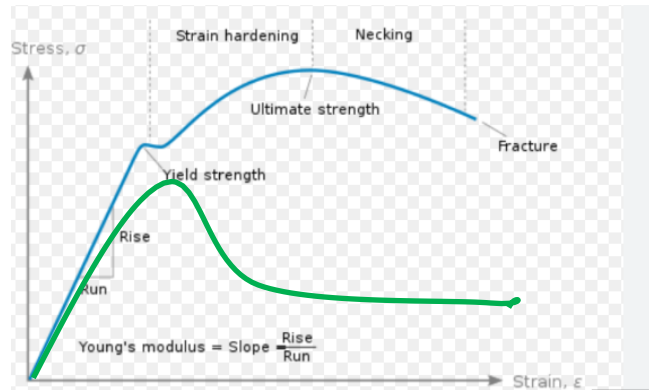
No	Simulator	Hasil Pengukuran
1	Bobot komponen	5 kg
2	Panjang	195 cm = 1950 mm
3	Lebar	40 cm = 400 mm
4	Tinggi	100 cm = 1000 mm
5	Ketebalan	3 mm

Simulasi Pembebanan pada Rangka

Setelah pembuatan desain alat, simulasi dan perhitungan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* dilakukan untuk memeriksa desain. Tujuan simulasi adalah untuk mengidentifikasi pertimbangan keselamatan dalam desain sebelum alat diproduksi. Jika hasil simulasi menunjukkan ketidaksesuaian, langkahnya kembali pada prosedur pemilihan desain.

Dengan memanfaatkan analisis dari perangkat lunak tersebut, perhitungan rangka turbin ulir dilakukan untuk membandingkan kekuatan rangka terhadap beban serta mengidentifikasi potensi permasalahan tegangan dan aspek keselamatan. Desain rangka pada simulasi ini telah dimodifikasi menggunakan material besi siku setebal 3 mm.

Pembebanan yang terjadi pada rangka turbin ulir meliputi beban bak penampung atas sebesar 5 kg. Dari simulasi rangka turbin ulir menggunakan *SolidWorks*, nilai tegangan (*stress*) terbesar adalah 0,03141025 mm, sedangkan nilai tegangan paling kecil adalah 6,28205 N/m². Faktor keamanan (*safety factor*) yang dihitung dari simulasi ini adalah 0,063673. Nilai keamanan kerangka di bawah beban dapat ditentukan dengan menjalankan simulasi faktor keamanan [4].

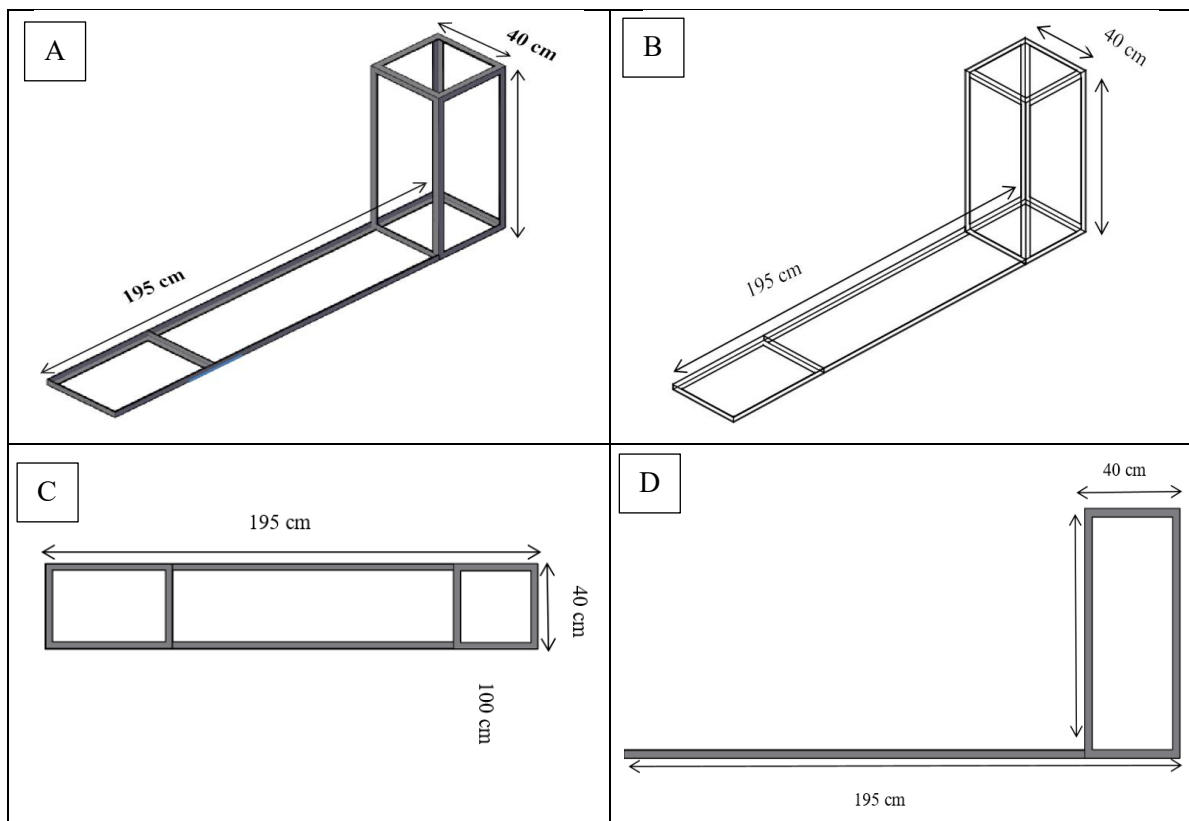


Gambar 3. Grafik Yield Strength [4]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Desain Rangka Alat Peraga Praktikum Turbin Ulir

Gambar 4 menunjukkan desain rangka turbin ulir sebagai alat peraga praktikum yang digambar menggunakan aplikasi *AutoCAD*. Rangka memiliki fungsi utama untuk menempatkan dan menopang komponen-komponen pada turbin ulir. Oleh karena itu, struktur rangka perlu dibuat kokoh. Dari hasil pembuatan desain rangka untuk alat peraga praktikum turbin ulir, rangka dibuat menggunakan material besi siku dengan ketebalan 3 mm, panjang rangka 195 cm, tinggi 100 cm, dan lebar 40 cm. Berikut ini adalah desain rangka turbin ulir untuk alat peraga praktikum yang digambar menggunakan aplikasi *AutoCAD*.



Gambar 4. Hasil Desain Rangka Turbin Ulir: (a) tampilan 3D; (b) sketsa 2D; (c) Tampak Atas; (d) Tampak Samping

Langkah-Langkah Perakitan Rangka

Proses perakitan rangka turbin ulir dimulai dengan memotong besi siku sepanjang 6 meter menjadi dua bagian dengan panjang masing-masing 195 cm yang berfungsi sebagai elemen utama rangka. Setelah itu, besi siku kembali dipotong menjadi empat bagian dengan panjang 40 cm yang digunakan sebagai dudukan bak penampung.



Gambar 5. Pemotongan Besi Siku

Tahap berikutnya adalah melakukan proses pengelasan untuk menyatukan besi siku berukuran 195 cm dan 40 cm hingga membentuk satu bagian rangka. Setelah seluruh komponen terlas dengan baik, langkah terakhir adalah menggabungkan semua bagian tersebut sehingga terbentuk rangka turbin ulir secara utuh.



Gambar 6. Proses Pengelasan dan Penggabungan Komponen

Analisis Kekuatan Rangka pada Alat Peraga Praktikum Turbin Ulir

Menghitung gaya, tegangan, dan regangan pada rangka besi siku 3 mm merupakan bagian dari proses analisis kekuatan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kekuatan Statis, Tegangan, dan Regangan

Spesimen	Gaya Statis	Tegangan (N/mm ²)	Regangan (mm)
Besi siku tebal 3 mm	49 N	6,28205	0,03141

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa rangka turbin ulir untuk alat peraga praktikum dengan material besi siku 3 mm, panjang 195 cm, tinggi 100 cm, dan lebar 40 cm memiliki gaya statis sebesar 49 N dengan nilai tegangan 6,28205 N/mm² dan regangan 0,03141025 mm.

Modulus Elastisitas dan Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

1. Modulus Elastis

Konsep matematika yang dikenal sebagai modulus elastis menggambarkan kecenderungan suatu benda atau material untuk berubah bentuk sebagai respons terhadap gaya yang diterapkan. Modulus elastisitas dapat dilihat pada puncak kurva tegangan–regangan suatu bahan. Menurut Hukum Hooke, tegangan yang timbul pada suatu bahan pada daerah elastis berbanding lurus dengan regangan (*strain*).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{6,28205 \text{ N/mm}^2}{0,03141025 \text{ mm}} = 200 \text{ GPa}$$

Tabel 3. Modulus Young, Kekuatan Tarik Maksimum, dan Yield Strength

Material	Modulus Young	Kekuatan Tarik Maksimum	Yield Strength
Besi	200 GPa	400 MPa	250 MPa

2. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Untuk memastikan keselamatan dan keandalan struktur, perencanaan elemen mesin dianalisis menggunakan faktor keamanan (*safety factor*). Faktor keamanan sering kali menggunakan persamaan berikut:

$$SF = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}$$

Diketahui:

$$\sigma = 6,28205 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 400 \text{ MPa}$$

$$SF = \frac{400}{6,28205} = 0,063673$$

Menurut Dobrovolsky dalam buku *Machine Element* (1989), rentang nilai faktor keamanan (SF) berdasarkan jenis beban adalah:

- Beban statis : 1,25 – 2,0
- Beban dinamis : 2,0 – 3,0
- Beban kejut : 3,0 – 5,0

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan pada rangka alat peraga praktikum turbin ulir yang diperoleh sebesar 0,063673, nilai ini berada di bawah batas aman (1,25 – 2,0) untuk beban statis. Dengan demikian, rangka tidak memenuhi faktor keamanan yang disyaratkan dan tidak dapat dikategorikan aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan teoritis, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Diketahui bahwa sketsa gambar rangka dengan material besi siku tebal 3 mm memiliki dimensi panjang 195 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 100 cm.
2. Diketahui bahwa material besi siku dengan tebal 3 mm memiliki gaya statis sebesar 49 N, tegangan sebesar 6,28205 N/mm², dan regangan sebesar 0,03141025 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Budiarto, D. S. Widhyarto, A. Prasetya, A. R. Wardhana, and J. J. Hidayat, *Energi Surya untuk Komunitas: Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan melalui Energi Terbarukan*. Jakarta: LAKPESDAM-PBNU, 2017.
- [2] S. Hadi, R. N. A. Takwin, and A. Dani, "Uji Kekuatan Tekan dan Kekuatan Lentur Pipa Air PVC," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 16, no. 1, pp. 7–13, Feb. 2017.
- [3] F. Ferdiansyah and M. M. Ilham, "Rancang Bangun Rangka Mesin Rotary Drum Filter 3M," *Pros. SEMNAS INOTEK (Seminar Nas. Inov. Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 400–408, 2022, doi: <https://doi.org/10.29407/inotek.v6i2.2621>.
- [4] W.-J. Sun, S. Kothari, and C. C. Sun, "The relationship among tensile strength, Young's modulus, and indentation hardness of pharmaceutical compacts," *Powder Technol.*, vol. 331, pp. 1–6, May 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.02.051>.
- [5] A. Priyadi, "Menteri ESDM: Perlu Upaya Konkrit dan Terencana Capai Target Bauran 23% di Tahun 2025." Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM, 2021. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/12/15/3038/menteri.esdm.perlu.upaya.konkrit.dan.terencana.capai.target.bauran.23.di.tahun.2025>
- [6] S. B. Parikesit, "Rencana Umum Energi Nasional: Lampiran I Peraturan Presiden Republik Indonesia." peraturan.bpk.go.id, 2017. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/68772>
- [7] Komarudin, *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro: Pengenalan, Operasi dan Perawatan*. Badung: PT. Protel Multi Energi, 2022.
- [8] F. Odi and Wardo, "Kajian Analisis Efisiensi Turbin dan Generator Simulator Pembangkit Listrik Pikohidro di Laboratorium Konversi Energi," *Suara Tek. J. Ilm.*, vol. 11, no. 1, pp. 38–44, 2021, doi: <https://doi.org/10.29406/stek.v11i1.1943>.
- [9] A. Salam, J. Jamal, B. Nasrullah, T. Limin, A. M. Irsyam, and A. Wahid, "Rancang Bangun Alat Uji Kinerja PLTMH Skala Laboratorium," *J. Sinergi Tek. Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 142–148, 2017, doi: <https://doi.org/10.31963/sinergi.v15i2.1188>.