

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Energi terbarukan adalah jenis energi yang bersumber dari fenomena alam yang dapat diperbaharui secara terus-menerus dalam jangka waktu yang relatif singkat, sehingga tidak menyebabkan habisnya sumber daya secara permanen. Sebaliknya, energi tak terbarukan berasal dari sumber daya alam yang ketersediaannya terbatas dan digunakan secara berkelanjutan dalam jangka waktu panjang namun pada akhirnya akan habis karena tidak dapat diperbaharui secara alami [1]. Penggunaan energi tak terbarukan, yang berlangsung terus menerus, menghadirkan tantangan karena sifatnya yang terbatas dan ketergantungan pada stok yang menurun, sedangkan energi terbarukan menawarkan alternatif yang dapat digunakan secara berkelanjutan tanpa risiko kehabisan sumber [2].

Sumber energi terbarukan berasal dari elemen-elemen yang ada di bumi dalam jumlah besar dan tak terbatas, seperti cahaya, angin, dan air. Disamping itu, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, mencapai total 441,7 GW. Namun, hingga saat ini, pemanfaatan energi terbarukan tersebut baru dimanfaatkan sekitar 2% dari total potensi yang ada [3]. Untuk mengatasi hal ini, salah satu kebijakan nasional Indonesia adalah dengan menargetkan peningkatan porsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional menjadi 34% pada tahun 2030. Target tersebut diharapkan terus meningkat hingga melampaui 50% di masa mendatang, seiring upaya memperkuat keberlanjutan energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya tak terbarukan [4].

Dalam upaya mendukung kebijakan Pemerintah Republik Indonesia dalam percepatan transisi menuju energi bersih, Telkom University berperan aktif melalui pengembangan berbagai sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Beberapa jenis pembangkit yang dikembangkan meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBIO), Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* (PLTPH), Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Hydrogen* (PLTHH), serta Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) [5]. Namun, hingga saat ini, pengembangan pembangkit-pembangkit listrik tersebut belum dimanfaatkan secara khusus sebagai media pembelajaran praktikum bagi mahasiswa di lingkungan akademik. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sarana pembelajaran

yang dapat merepresentasikan prinsip kerja pembangkit energi terbarukan secara interaktif dan aplikatif, guna mendukung pemahaman konseptual dan keterampilan teknis mahasiswa secara lebih komprehensif.

Permasalahan ini turut diperkuat berdasarkan hasil wawancara yang penulis lakukan terhadap beberapa mahasiswa/i Program Studi S1 Teknik Sistem Energi (TSE), yang menyatakan bahwa hingga saat ini belum tersedia laboratorium khusus yang secara langsung mewadahi pembelajaran dan praktikum terkait Sistem EBT. Ketidadaan fasilitas ini dinilai menjadi salah satu kendala dalam memperdalam pemahaman teknis dan praktis mahasiswa terhadap implementasi teknologi EBT di dunia nyata. Ringkasan hasil wawancara tersebut disajikan pada Tabel 1.1, 1.2, dan 1.3 berikut:

Tabel 1.1 Daftar Pertanyaan dan Jawaban Wawancara Narasumber 1

Mahasiswa TSE 2023 (Praktikan Lab. Konversi Energi)		
No	Pertanyaan	Jawaban
1	Apakah di TSE sendiri saat ini sudah ada beberapa lab praktikum yang berkaitan dengan EBT? Dan nama mata kuliah atau mata praktikum nya apa saja?	Untuk praktikum di prodi TSE hanya satu, di matakuliah bernama mesin-mesin listrik, sedangkan untuk praktikumnya itu sendiri rekayasa energi.
2	Apa nama laboratorium yang menunjang pelaksanaan praktikum tersebut, dan apakah di praktikum tersebut ada yang mempelajari atau berkaitan dengan Energi Baru dan Terbarukan?	Nama lab yang menunjang pelaksanaan praktikumnya adalah Laboratorium Konversi Energi, untuk yang berkaitan dengan energi terbarukan tidak ada, hanya mempelajari cara kerja motor DC, AC dan trafo
3	Apakah komponen tersebut ada keterkaitannya dengan energi terbarukan, seperti penggunaan motor servo dc tersebut dapat digunakan untuk mengatur kemiringan panel surya agar memperoleh intensitas cahaya matahari nya maksimal?	Tidak ada karena yang kami pelajari hanya mengenai komponen motor DC, AC dan trafo selama proses pelaksanaan praktikum yang berlangsung dalam 6 modul pembelajaran.

Tabel 1.2 Daftar Pertanyaan dan Jawaban Wawancara Narasumber 2

Mahasiswa TSE 2022 (Asisten Praktikum Lab. Konversi Energi)		
No	Pertanyaan	Jawaban
1	Pada praktikum rekayasa energi kalian mempelajari tentang apa aja, adakah yang berkaitan dengan energi baru dan terbarukan?	Untuk materi spesifik yang berkaitan dengan EBT seperti solar PV dan sejenisnya, saat ini belum tersedia, dikarenakan kami berfokus pada trafo dan komponen terkait lainnya.
2	Berarti untuk pembelajarannya hanya berfokus ke komponen penggerak trafo saja ya, tidak ada yang secara khusus mengarah ke EBT?	Benar, kurang lebih seperti itu.
3	Konversi energi nya seperti apa yang dipelajari dan melalui proses apa?	Energi yang dikonversi berada di bagian generator, karena generator berfungsi sebagai pengubah energi gerak menjadi listrik.

Tabel 1.3 Daftar Pertanyaan dan Jawaban Wawancara Narasumber 3

Mahasiswa TSE 2022 (Asisten Praktikum Lab. Konversi Energi)		
No	Pertanyaan	Jawaban
1	Dalam praktikum Laboratorium Konversi Energi, materi apa saja yang dipelajari? Apakah terdapat pembelajaran terkait EBT seperti PLTS (Panel Surya), PLTB (Turbin Angin), dan PLTMH (Turbin Air)?	Untuk Lab Konversi Energi, kami hanya mengajarkan praktikum mesin listrik di semester genap dan elektronika daya di semester ganjil. Mesin listrik mempelajari generator dan sejenisnya yang banyak digunakan di sistem pembangkit, sedangkan elektronika daya lebih fokus pada kelistrikan sistem pembangkit.
2	Jika untuk pembelajaran mengenai komponen utama atau perangkat seperti yang saya sebutkan, apakah ada alat-alatnya? Atau hanya mempelajari generator dan elektronika daya saja?	Untuk komponen utama yang disebutkan tersebut kami tidak memilikinya dan tidak mengajarkan ke segi perangkat utamanya, hanya terfokus ke bagian generator.
3	Dan jika boleh tahu, kapan laboratorium ini berdiri serta siapa dosen pembinanya?	Laboratorium ini berdiri pada tahun 2023 dan dosen pembinanya adalah Pak Rifki Rahman Nur Ikhsan, S.T., M.T.
4	Berarti fokus pembelajaran hanya pada generator sebagai komponen penggerak atau aktuator? Bukan pada perangkat utama (panel surya, turbin air/turbin angin) dan alat fisiknya?	Benar, laboratorium kami tidak mengajarkan perangkat utamanya. Materi tersebut sudah menjadi bagian dari kurikulum di laboratorium lain.
5	Mohon maaf, Saya ingin mengkonfirmasi nama Laboratorium kalian adalah "Konversi Energi", jadi saya ingin menanyakan, energi yang dikonversi tersebut berupa apa saja dan melalui proses apa konversinya dilakukan?	Nama laboratorium "Konversi Energi" ini merupakan penamaan yang ditetapkan oleh Ketua Program Studi kami, dan generator termasuk salah satu perangkat yang berfungsi sebagai alat konversi energi.

Mahasiswa TSE 2022 (Asisten Praktikum Lab. Konversi Energi)		
No	Pertanyaan	Jawaban
6	Apakah modul yang digunakan untuk praktikum merupakan modul rancangan sendiri atau modul yang telah disediakan oleh pihak lain?	Kami tidak menggunakan modul praktikum tersebut karena pengajaran dilakukan secara langsung oleh dosen kami saat kegiatan <i>Training of Trainers</i> (TOT).
7	Jadi untuk penjelasan materi disampaikan melalui media pengajaran secara langsung (lisan), bukan menggunakan modul pembelajaran ya? Apakah saat ini sudah tersedia modul pembelajaran sebagai aplikasi pendukung?	Betul, hanya melalui secara lisan, belum ada.
8	Bagaimana status ketersediaan jurnal praktikum yang dibuat sendiri? Apakah sudah tersedia?	Jurnal praktikum tersebut telah tersedia.

Berdasarkan hasil wawancara yang ditampilkan pada Tabel 1.1, 1.2, dan 1.3, dapat disimpulkan bahwa saat ini belum tersedia laboratorium yang secara khusus mewadahi kegiatan pembelajaran dan praktikum terkait EBT. Laboratorium yang ada saat ini lebih berfokus pada materi dasar kelistrikan, seperti motor DC, motor AC, trafo, generator, serta elektronika daya, tanpa keterkaitan langsung dengan perangkat pembangkit EBT seperti panel surya, turbin angin, maupun turbin air. Selain itu, proses pembelajaran praktikum masih didominasi oleh metode penyampaian lisan dan manual, tanpa dukungan modul pembelajaran atau sistem simulasi yang merepresentasikan implementasi teknologi EBT secara nyata. Kondisi ini mencerminkan adanya kebutuhan mendesak untuk menghadirkan media pembelajaran yang mampu menyediakan pengalaman praktikum yang interaktif dan aplikatif di bidang EBT, guna menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik serta memperkuat kompetensi teknis mahasiswa secara menyeluruh.

Dalam hal ini, kami akan berkonsentrasi pada sumber energi yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan secara luas melalui integrasi teknologi digital. Inovasi yang diusulkan dalam tugas akhir ini berupa suatu sistem cerdas yang mampu melakukan proses pemantauan dan pengendalian secara *real-time*, serta dapat diakses secara *remote* melalui antarmuka berbasis website. Sistem ini dirancang khusus untuk diterapkan pada Simulator EBT, yaitu Simulator PLTS, Simulator PLTB, dan Simulator PLTMH, dengan dukungan komponen IoT dan integrasi SCADA. Seluruh simulator tersebut dikembangkan untuk digunakan di lingkungan laboratorium *indoor*, sehingga tidak bergantung pada kondisi alam atau faktor cuaca eksternal. Dengan demikian, proses pembelajaran tetap

dapat berlangsung secara konsisten dan terkontrol, tanpa hambatan yang disebabkan oleh variabel lingkungan. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran praktikum sekaligus menciptakan ekosistem laboratorium digital yang adaptif terhadap perkembangan teknologi industri.

1.2 Analisis Masalah

Permasalahan yang dihadapi dipengaruhi oleh beberapa aspek utama, di antaranya aspek teknologi, aspek teknis, dan aspek keberlanjutan. Penjelasan lebih lanjut mengenai masing-masing aspek disajikan sebagai berikut:

1.2.1 Aspek Teknologi

Kurangnya integrasi dalam sistem pembelajaran alat praktikum dengan pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada bidang energi terbarukan di Universitas Telkom menjadi isu yang signifikan. Tanpa penerapan teknologi IoT, mahasiswa diharuskan melakukan pengukuran secara manual untuk kebutuhan pemantauan langsung, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga berisiko tinggi terhadap kesalahan manusia (*human error*), sekaligus membatasi fleksibilitas pengumpulan data secara real-time. Dengan implementasi IoT, keterbatasan tersebut dapat diatasi melalui pengembangan sistem monitoring dan kontrol yang terintegrasi, yang dapat diakses serta dipantau secara *real-time* dan *remote* via platform digital suatu *website*. Sistem ini juga *mengintegrasikan Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), sehingga memungkinkan kendali dan pemantauan yang optimal terhadap pengoperasian simulator energi terbarukan dalam konteks pembelajaran.

Interaksi dengan simulator dapat dilakukan dengan dua aspek utama. Pertama, mahasiswa/i dapat melakukan pengamatan secara langsung terhadap pengoperasian simulator saat sedang berjalan, sehingga memperoleh pemahaman yang mendalam melalui observasi proses kerja secara *real-time*. Kedua, mahasiswa/i juga memiliki kemampuan untuk memantau dan mengendalikan masing-masing simulator melalui antarmuka platform digital berbasis *website*, baik secara langsung (*real-time*) maupun dari jarak jauh (*remote*). Pendekatan ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam proses pembelajaran dan pengujian tanpa terbatas oleh lokasi fisik, meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pembelajaran energi baru terbarukan.

1.2.2 Aspek Teknis

EBT merujuk pada sumber energi yang dihasilkan melalui berbagai teknologi dan infrastruktur yang memanfaatkan beberapa potensi sumber energi, seperti cahaya, angin, dan air. Untuk menghasilkan energi secara efisien, diperlukan perangkat yang mampu mendukung proses konversi energi secara optimal. Misalnya, pada Simulator PLTS, posisi kemiringan panel surya harus disesuaikan secara tepat agar intensitas cahaya yang diterima dapat dimaksimalkan. Begitu pula pada Simulator PLTB, pengukuran kecepatan angin memerlukan perangkat yang akurat agar potensi energi yang dihasilkan dapat dihitung secara tepat. Sementara itu, pada Simulator PLTMH, pengukuran kecepatan putaran turbin perlu didukung oleh sensor yang mampu membaca besarnya debit dan tekanan air untuk menentukan energi yang dihasilkan.

Dengan demikian, diperlukan perangkat khusus yang dapat mengakomodasi kebutuhan pengukuran dan kendali pada masing-masing jenis simulator, karena faktor-faktor tersebut sangat mempengaruhi tingkat efisiensi sistem. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan penggunaan komponen berbasis IoT dan integrasi dengan sistem SCADA pada setiap perangkat simulator guna memaksimalkan kinerja sistem, khususnya untuk mendukung kegiatan pembelajaran praktikum di bidang EBT.

1.2.3 Aspek Keberlanjutan

EBT merupakan bidang teknologi yang terus berkembang secara progresif, didorong oleh kebutuhan akan diversifikasi sumber energi dan peningkatan efisiensi sistem. Meskipun teknologi EBT umumnya diasosiasikan dengan pemanfaatan sumber daya alam secara langsung, seperti sinar matahari atau angin, dalam konteks pendidikan dan penelitian, pendekatan laboratorium dan simulasi dalam ruangan (*indoor*) memainkan peran penting dalam memahami prinsip kerja dan pengembangan sistem EBT secara terkontrol. Namun, hingga saat ini, peralatan praktikum dan sistem simulasi EBT yang tersedia di institusi pendidikan, khususnya di tingkat perguruan tinggi, masih sangat terbatas dan umumnya bergantung pada produk impor.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan perangkat laboratorium lokal yang adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran. Meskipun tidak memanfaatkan sumber energi alam secara langsung, simulasi indoor tetap memungkinkan replikasi karakteristik teknis dari sistem energi terbarukan, seperti fotovoltaik, turbin angin, dan turbin mikrohidro dalam skala kecil. Pendekatan ini memberikan ruang yang luas untuk eksperimen, pengujian sistem kendali, integrasi IoT dan sistem SCADA, serta pelatihan teknis tanpa tergantung pada kondisi cuaca

atau lokasi geografis tertentu. Dengan demikian, laboratorium yang terdiri Simulator EBT berperan strategis dalam menciptakan ekosistem pendidikan energi yang berkelanjutan dan mandiri secara teknologi.

1.3 Analisa Solusi yang Ada

1.3.1 Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS *Off-Grid* Kapasitas 4 KWP Lab. Elektro Kampus-II ITN Malang Menggunakan SCADA HAIWELL

Penelitian ini menghadirkan inovasi dalam pengembangan sistem monitoring untuk PLTS *off-grid* dengan kapasitas 4 kWp yang diterapkan di lingkungan laboratorium pendidikan. Keunggulan sistem ini terletak pada integrasi perangkat *monitoring* digital seperti PZEM-017 dan SPM91 dengan protokol komunikasi RS-485 serta platform SCADA Haiwell, yang secara signifikan meningkatkan akurasi pemantauan parameter kelistrikan. Implementasi sistem ini memungkinkan visualisasi data secara *real-time*, sehingga mendukung efektivitas pengawasan performa sistem dan pengambilan keputusan berbasis data.

Namun demikian, penelitian ini juga mengungkapkan beberapa keterbatasan yang perlu mendapat perhatian dalam pengembangan lebih lanjut. Sistem *monitoring* yang dikembangkan masih bersifat lokal dan belum terintegrasi dengan teknologi berbasis *cloud*, sehingga akses pemantauan secara jarak jauh menjadi terbatas pada area jaringan lokal (LAN) saja dan tidak dapat dilakukan secara global melalui internet. Selain itu, sistem ini hanya berfungsi sebagai alat pemantau (*monitoring*) dan belum mendukung fitur pengendalian (*controlling*) terhadap komponen atau parameter operasional PLTS secara langsung melalui antarmuka SCADA. Ketiadaan fungsi kontrol ini membatasi kemampuan sistem untuk merespons kondisi kritis secara otomatis atau mengatur parameter sistem secara dinamis dari jarak jauh, yang pada akhirnya mengurangi efisiensi dan fleksibilitas operasional, khususnya dalam skenario pemanfaatan di luar laboratorium atau di lokasi yang tidak selalu diawasi secara langsung. Dengan demikian, perlu adanya pengembangan sistem yang tidak hanya memungkinkan pemantauan *real-time* tetapi juga mendukung pengendalian jarak jauh secara adaptif melalui integrasi dengan teknologi IoT [6].

1.3.2 Analisa Prototipe Pembuatan PLTB Skala Kecil Laboratorium Teknik Listrik di Politeknik Negeri Padang

Penelitian ini merancang dan menguji prototipe PLTB skala kecil dengan pendekatan eksperimental berbasis laboratorium, yang ditujukan untuk mendukung pembelajaran dan pemahaman energi terbarukan, khususnya energi angin. Keunggulan dari penelitian ini terletak pada proses perakitan sederhana dengan pemanfaatan komponen yang mudah diakses seperti

motor servo AC sebagai generator, pipa PVC untuk sudu turbin, dan penyearah sebagai konversi AC ke DC. Dalam pengujian tanpa beban, sistem mampu menghasilkan tegangan stabil sebesar 12,48 V pada kecepatan angin konstan 25 m/s. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam menciptakan model pembelajaran praktis di bidang energi angin yang dapat diimplementasikan di lingkungan pendidikan teknik, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk skala aplikatif.

Meskipun menunjukkan potensi dalam skala edukatif, prototipe yang dikembangkan masih memiliki sejumlah keterbatasan teknis yang signifikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika diberi beban bertingkat dari 3W hingga 21W, arus dan tegangan yang dihasilkan tidak mengikuti pola linier sebagaimana mestinya berdasarkan persamaan teoritis daya listrik. Ketidaksesuaian ini disebabkan oleh penurunan signifikan pada kecepatan rotor ketika beban meningkat, sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan tidak mampu menyuplai kebutuhan beban secara optimal. Selain itu, media pengukuran parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan kecepatan rotor masih mengandalkan alat ukur manual seperti voltmeter, amperemeter, dan tachometer secara konvensional, yang memerlukan pembacaan langsung dan meningkatkan potensi kesalahan observasi serta keterbatasan dalam pencatatan data secara berkelanjutan. Pengujian juga dilakukan hanya pada satu nilai kecepatan angin konstan tanpa memperhitungkan variabilitas kecepatan angin yang lebih realistis. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut yang mencakup integrasi sistem *monitoring* digital serta perluasan parameter pengujian untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil [7].

1.3.3 Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis Digital

Sistem *monitoring* PLTMH berbasis digital yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki beberapa keunggulan. Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai pusat kendali dengan dukungan sensor infrared, sensor flowmeter, dan berbagai modul pendukung lain yang memungkinkan pengumpulan data secara akurat dan *real-time*. Keunggulan utama sistem ini berupa otomasi pemantauan kondisi operasional PLTMH tanpa bergantung penuh pada pengamatan manual, sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan manusia sekaligus meningkatkan efisiensi pengelolaan energi. Selain itu, desain digital ini memberikan kemudahan pengembangan lebih lanjut dengan komponen yang relatif mudah diperoleh dan biaya yang terjangkau, sehingga menjadi solusi praktis dan ekonomis untuk pembangkit listrik skala mikro. Sistem juga menampilkan data secara langsung pada layar LCD yang memberikan akses informasi instan kepada operator saat berada di lokasi pengukuran.

Di sisi lain, sistem *monitoring* PLTMH ini memiliki keterbatasan terutama pada aspek media antarmuka untuk membaca data pengukuran. Media antarmuka terbatas pada layar LCD kecil yang kurang memadai untuk memberikan tampilan data secara lengkap dan mudah dibaca, terutama saat diperlukan informasi yang lebih rinci atau akses data yang lebih fleksibel. Selain itu, sistem belum memiliki kemampuan pemantauan jarak jauh secara *real-time* sehingga pengawasan kegiatan operasional terbatas hanya pada lokasi fisik perangkat. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut pada aspek antarmuka pengguna dan mekanisme akses data guna mendukung kemudahan dan efektivitas pemantauan dalam operasional pembangkit [8].

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian tugas akhir ini memiliki tujuan utama untuk mengembangkan sistem pembelajaran praktikum EBT berbasis teknologi cerdas yang terintegrasi dengan SCADA-IoT. Tujuan tersebut dijabarkan secara rinci sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem cerdas pada Simulator EBT; Simulator PLTS, PLTB, dan PLTMH yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran alat bantu praktikum di lingkungan akademik FTE.
2. Merancang sistem *monitoring* dan *controlling* berbasis *website* dan *cloud*, yang memungkinkan akses *real-time* dan *remote* terhadap data operasional sistem EBT dari antarmuka berbasis *web*.
3. Menerapkan teknologi SCADA-IoT dalam simulator EBT untuk memungkinkan pengumpulan data sensor dari berbagai simulator.