

# Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis *Internet of Things*

Dwi Haryo Wicaksono\*, Djuniadi, Esa Apriaskar

Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang, Semarang

\*[dwiharyow7@students.unnes.ac.id](mailto:dwiharyow7@students.unnes.ac.id)

**Abstrak**— Terjadinya perubahan iklim yang ekstrem di Indonesia saat ini berdampak pada kenaikan suhu udara secara mendadak, hal ini dapat disebabkan karena tingkat polusi udara yang tinggi. Tingkat polusi udara yang tinggi disebabkan oleh penggunaan energi fosil secara terus menerus sebagai sumber energi utama, mulai dari pembangkit listrik bertenaga fosil hingga banyaknya kendaraan konvensional yang masih digunakan. Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) mampu menjadi solusi permasalahan penggunaan energi fosil. Angin dapat memutar generator turbin untuk menghasilkan energi listrik. Kecepatan angin yang melewati turbin sangat berdampak terhadap besarnya energi yang dihasilkan. Kecepatan angin yang tidak stabil akan mempengaruhi proses pembacaan data output karena proses pengukuran output turbin angin masih menggunakan pengukuran manual (analog). Sehingga dalam proses pembacaan data output menjadi terganggu dan hasil yang didapat belum akurat. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa monitoring terhadap energi yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik tenaga angin berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan *prototype* yang telah dibuat. *Prototype* yang telah dibuat menggunakan Sensor INA 219 sebagai pengukur energi dari turbin dan NodeMCU sebagai pengontrol serta pengirim data yang dihasilkan sensor ke *software* Blynk. Dari hasil pengujian alat monitoring PLTB, diperoleh nilai tegangan yang dihasilkan turbin cukup stabil yaitu antara 0.86 V hingga 0.87 V dengan daya terbesar yang dihasilkan selama pengujian adalah 6370,93 mW. Perbedaan jarak turbin dengan kipas angin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya nilai arus yang dihasilkan. Nilai arus yang dihasilkan selama pengujian yaitu 0,1 mA hingga 7,3 mA. Perubahan nilai tegangan tidak mempengaruhi kondisi LED.

**Kata Kunci**— *Blynk, Internet of Things, NodeMCU ESP8266, Sensor INA219, Turbin Angin.*

DOI: 10.22441/jte.2023.v14i2.010

## I. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya jumlah penggunaan energi listrik saat ini, membuat kita semua harus berfikir bagaimana cara untuk mencegah terjadinya peningkatan penggunaan listrik di masa yang akan datang tanpa harus mengurangi kegiatan penggunaan energi listrik. Kebutuhan masyarakat akan penggunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari masih bergantung kepada energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Penggunaan energi fosil sebagai sumber utama pembangkit listrik saat tidak disarankan bagi lingkungan, karena hasil pembakaran dari energi fosil dapat menghasilkan polusi udara berupa gas karbon dioksida ( $CO_2$ ) yang akan berdampak kepada pemanasan global. Selain itu, ketersediaan pasokan energi fosil yang sangat terbatas, membuatnya untuk tidak dapat digunakan terus menerus dimasa depan. Oleh karena itu perlu

ada energi terbarukan sebagai pengganti energi fosil guna memenuhi kebutuhan energi listrik dimasa depan.

Pada akhir 2021, pangsa energi terbarukan akan mencapai 11,5% dari total energi negara, menurut Dadan Kusniadi, Direktur Jenderal EBTKE (Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi), Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam. Pencapaian tersebut masih kurang baik, mengingat letak geografis Indonesia yang strategis sehingga masih memiliki kesempatan untuk dapat melakukan pengembangan terhadap energi terbarukan karena ketersediaan sumber daya alam (SDA) yang melimpah seperti sinar matahari, air dan angin.

Keberadaan angin di alam semesta memiliki kecepatan yang bervariasi. Kecepatan angin yang rendah masih dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari. Penggunaan generator turbin angin dapat menjadi solusi dalam menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Generator turbin angin mampu dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Kecepatan angin yang melewati generator turbin angin, sangat berdampak terhadap besarnya energi yang dihasilkan. Kecepatan angin yang tidak stabil akan mempengaruhi proses pembacaan data output karena proses pengukuran output turbin angin terkadang masih menggunakan metode pengukuran secara analog (manual). Akibatnya proses pembacaan data output menjadi terganggu dan hasil yang didapat tidak akurat.

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) tergolong sebagai pembangkit listrik energi terbarukan, karena prinsip kerjanya memanfaatkan kecepatan angin untuk dapat memutar turbin, turbin terhubung dengan komponen generator, saat turbin angin berputar yang disebabkan oleh keberadaan energi angin, maka generator juga ikut berputar. Proses perputaran generator ini memungkinkan untuk dapat menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini sangat efisien karena tidak menghasilkan gas buang seperti pembangkit konvensional lainnya sehingga sangat ramah bagi lingkungan [2].



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dibutuhkan suatu alat yang dapat melakukan monitoring terhadap energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin secara efektif dan akurat agar dapat mengetahui seberapa besar peran turbin angin dalam mengganti penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan. Proses monitoring energi turbin angin sebenarnya dapat dilakukan secara manual, namun proses ini membutuhkan banyak waktu dan biaya operasional yang tinggi. Selain itu dalam melakukan monitoring, diperlukan tenaga ahli khusus yang dikirimkan untuk dapat melakukan proses monitoring.

Pada penelitian ini akan dibuat suatu prototype untuk memonitoring energi yang dihasilkan dari sebuah turbin angin. Dikombinasikan dengan perkembangan teknologi saat ini, perangkat ini mengimplementasikan *Internet of Things (IoT)* yang diharapkan dapat beroperasi secara otomatis dan dapat diakses kapan saja, di mana saja secara real time, menggunakan Internet sebagai sarana komunikasi. Sehingga, meskipun lokasi sistem pembangkit listrik tenaga angin berada cukup jauh, para pekerja yang ditugaskan untuk memonitoring turbin dapat melakukannya pemantauan energi yang dihasilkan turbin tanpa harus datang ke lokasi. Dengan menerapkan konsep *Internet of Things*, kita dapat mengetahui energi yang dihasilkan secara sistematis dan akurat, serta dapat bekerja dengan konsumsi energi yang lebih efisien. Pemantauan energi keluaran nantinya dapat diakses menggunakan software *Blynk* melalui website maupun Andorid.

## II. PENELITIAN TERKAIT

Dalam penelitian yang dilakukan [1] menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai pemantau. Sistem monitoring berbasis board Arduino Uno R3 akan mengolah data dari sensor kecepatan angin berbasis sensor *optoculer* dan sensor arah angin berbasis IC A3144. Data yang dihasilkan akan dikirim ke Node MCU V3 menggunakan komunikasi data serial. Node MCU V3 akan mengirimkan data kecepatan dan arah angin [2] melalui jaringan Wifi ke Telegram Messenger dan IoT Server Thingspeak. Nilai error rata-rata pengukuran kecepatan angin adalah 4.7637613% dengan waktu rata-rata yang dibutuhkan *Bot Telegram* dalam membalas pesan adalah 5.28 detik.

Dalam penelitian yang dilakukan [3] tentang pembuatan alat monitoring kecepatan angin digital menggunakan sensor *optoculer* sebagai pendeteksi jumlah putaran dan modul *wireless NRF24L01* sebagai penghubung. Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali sistem akan dihubungkan ke modul *NRF24L01* sehingga data yang dihasilkan dapat dibaca dengan jarak jauh. Jika pembacaan data tersebut ditambah faktor kalibrasi dengan rentang margin error 0,008% hingga 0,30% untuk anemometer Benetech GM-816 maka hasil pendeteksian kecepatan angin dengan sensor *optocoupler* berbasis Arduino Uno dapat dimanfaatkan sebagai alat pengukuran yang sesuai.

Dalam penelitian yang dilakukan [4] memonitoring data PLTB menggunakan Mikrokontroler Atmega32. Sesuai dengan kebutuhan pembangkit listrik tenaga angin, perancangan alat ini akan mengukur variabel tegangan, arus, daya, dan kecepatan angin. Alat tersebut memiliki sistem penyimpanan otomatis (ASS). Auto Saving System adalah perangkat yang dapat menyimpan karakteristik tegangan, arus, daya, dan kecepatan

angin dalam sebuah chip memori. Menurut data yang dihasilkan turbin, nilai tegangan dan arus juga meningkat dengan meningkatnya kecepatan angin yang mengalir melalui turbin [5].

Dalam penelitian yang dilakukan [6] tentang proses pembuatan alat pengukur *Output PLTB* berbasis data logger. Penggunaan sensor INA219 sebagai pengukur arus dan tegangan, serta Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengontrol data, penghubung, dan pengirim data hasil pengukuran ke laptop. Pembacaan data menggunakan *software PLXdaq* secara real time. Hasil pengiriman data arus dan tegangan pada *PLXdaq* mengalami error tidak melebihi 1%.

Dalam penelitian yang dilakukan [7] menggunakan turbin angin *savonius* sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Prototype pembangkit listrik menggunakan aki sebagai tempat penyimpanan energi agar dapat menghidupkan beban. Setelah menjalankan percobaan, hasil pengujian menunjukkan kecepatan angin rata-rata 5,6 m/s, memberikan tegangan pengisian 12,6 volt pada arus 0,12 ampere. Pada kecepatan angin rata-rata 5,4 m/s, arus sebesar 0,12 ampere akan menghasilkan tegangan masukan sebesar 12,5 volt. Waktu pengisian baterai berkapasitas 12 volt 3,5 Ah adalah 29 jam. Baterai bertahan 15 jam dengan lampu DC 10 watt dan 38 jam dengan lampu DC 5 watt.

Dalam penelitian yang dilakukan [8] melakukan pengembangan terhadap pengontrol turbin angin *savonius*. Pengontrolan kecepatan angin menggunakan ESP8266 sebagai penerapan Internet of Things (IoT) dan rangkaian AC maupun DC sebagai peningkat stabilitas kinerja energi angin. Parameter yang diukur ialah kecepatan angin, arus, tegangan, dan daya menggunakan ESP8266. Kecepatan angin dengan 7,8 MPH dapat menghasilkan tegangan keluaran dan arus maksimum sebesar 1,10V dan 4,321  $\mu$ A. Penggunaan aplikasi *Blynk* sebagai alat pemantauan kinerja turbin yang lebih akurat dan efisien.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan melakukan pengkajian terhadap hasil yang didapat dari berbagai penelitian sebelumnya dan berdasarkan fenomena nyata yang terjadi di lapangan, sehingga dapat menjawab permasalahan terkait monitoring sistem pembangkit tenaga angin. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang melakukan pengamatan secara sistematis terhadap objek dengan cara mengumpulkan data-data berupa angka yang berguna dalam penelitian. Dalam hal ini berguna untuk melakukan analisa monitoring energi yang diciptakan dari sebuah turbin pembangkit listrik tenaga angin.

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

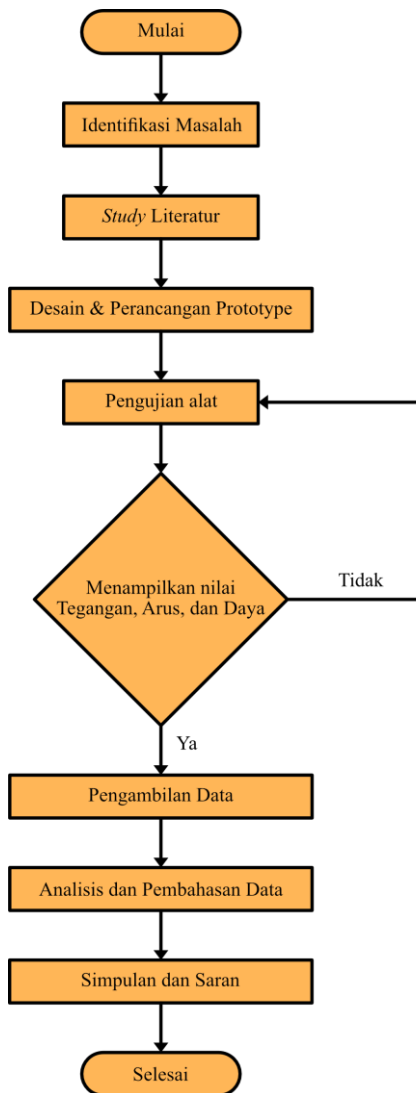
Proses penelitian, perencanaan, dan pembuatan alat berlangsung di kediaman penulis. Studi dimulai pada November 2022.

### B. Pendekatan Penelitian

Penelitian eksperimen merupakan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan menggunakan prototipe [9] yang dibuat, penelitian ini berupaya melacak dan

mengevaluasi energi yang dihasilkan oleh fasilitas tenaga angin.

C. *Prosedur Penelitian*

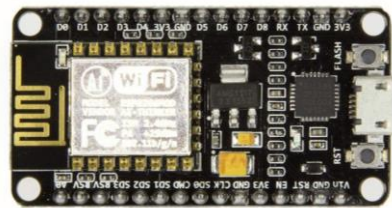


Gambar 2. *Prosedur Penelitian*

D. *Komponen Yang Digunakan*

*NodeMCU ESP8266*

NodeMCU [10][11] merupakan sebuah papan sirkuit yang terdiri dari chip ESP8266 sebagai mikrokontroler dan koneksi internet. Secara umum prinsip kerja dari ESP8266 menyerupai arduino, namun yang membedakannya ialah pada ESP8266 difokuskan dalam pengembangan dunia *Internet of Things (IoT)* karena modul ini memiliki sistem *Wifi* sehingga dapat terkoneksi ke jaringan internet. Sistem *wifi* tersebut menjadi pembeda antara ESP8266 dengan mikrokontroler lainnya, karena dapat menjadi alat controlling sekaligus monitoring jarak jauh. ESP8266 memiliki 17 pin GPIO dengan Clock Speed sebesar 80MHz dan dapat bekerja pada tegangan 3,3V. Jenis komunikasi yang digunakan yaitu USB to serial. Proses pemrograman pada NodeMCU dapat menggunakan *software* Arduino IDE.



Gambar 3. *NodeMCU ESP8266*

*Generator DC 12 V*

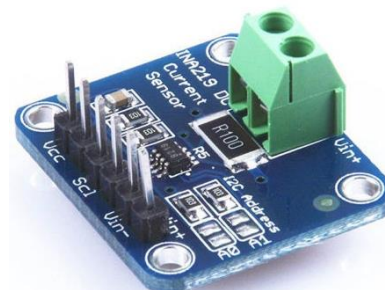
Generator DC [12][13][14] adalah perangkat elektromekanis dalam bidang mesin listrik yang mengubah dari suatu energi berupa energi mekanik/gerak menjadi energi listrik. Jenis listrik yang dihasilkan dari generator ini adalah listrik DC (Direct Current). Secara umum, komponen ini terbagi menjadi dua bagian utama: stator (bagian yang tidak bergerak) dan rotor (bagian bergerak).



Gambar 4. *Generator DC 12V*

*Sensor INA 219*

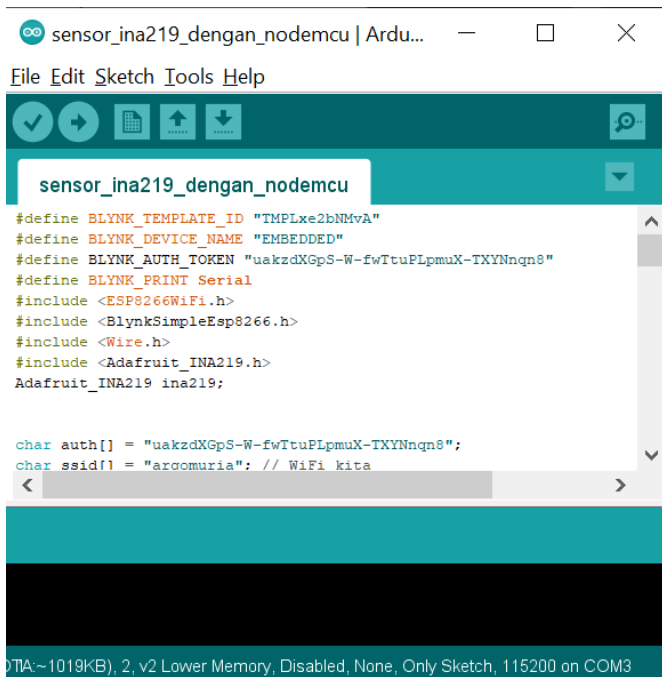
Sensor INA 219 adalah sensor yang mengukur arus dan tegangan searah (DC). Sensor ini beroperasi pada rentang daya input 3 hingga 5,5 volt. Sensor ini memiliki prinsip kerja dengan menghitung nilai arus yang terdapat dalam sambungan seri dari sumber terminal blok Vin+ dan Vin-. Pin tersebut dapat disambungkan dengan modul NodeMCU ESP8266 agar dapat mengukur parameter arus dan tegangan secara bersamaan. Proses pengukuran parameter menggunakan pin komunikasi serial Scl dan Sda.



Gambar 5. *Sensor INA 219*

*Arduino IDE*

Perangkat lunak opensource Arduino IDE digunakan untuk memprogram berbagai jenis mikrokontroler. Perangkat lunak ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman C++.



Gambar 6. Software Arduino IDE

*Software Blynk*

Blynk merupakan software yang mampu mengontrol dan memonitoring sebuah perangkat mikrokontroler secara efisien. Proses pengontrolan dan monitoring dapat dilakukan melalui perangkat Android, iOS, maupun Website. Blynk menerapkan konsep Internet of Things (IoT), karena terhubung ke internet, kendali jarak jauh dimungkinkan.

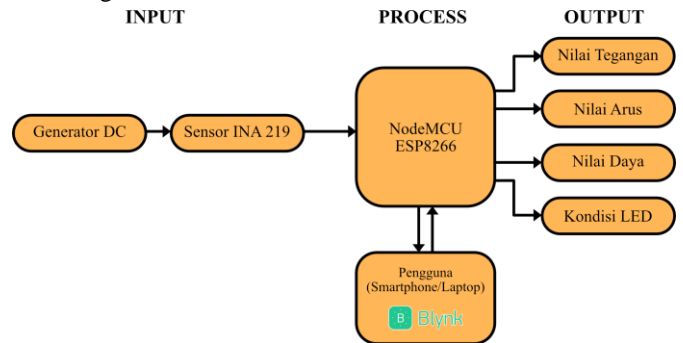


Gambar 7. Tampilan Aplikasi Blynk

*E. Blok Diagram*

Dalam perancangan alat monitoring akan menggunakan tiga komponen yaitu generator dc 12v sebagai pembangkit listrik dari perputaran turbin, sensor INA 219 sebagai pengukur tegangan, arus, dan daya dari generator, dan lampu LED

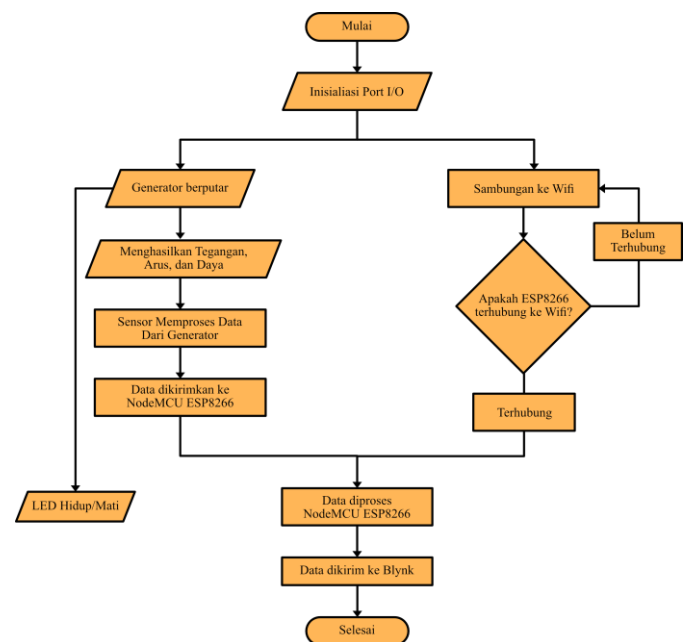
sebagai indikator. Data yang dihasilkan dari sensor INA 219 akan diproses NodeMCU ESP8266, kemudian semua data tersebut dikirim ke software Blynk. Berikut bentuk diagram blok yang menunjukkan konfigurasi sistem alat yang akan dirancang.



Gambar 8. Blok Diagram

*F. Flow Chart*

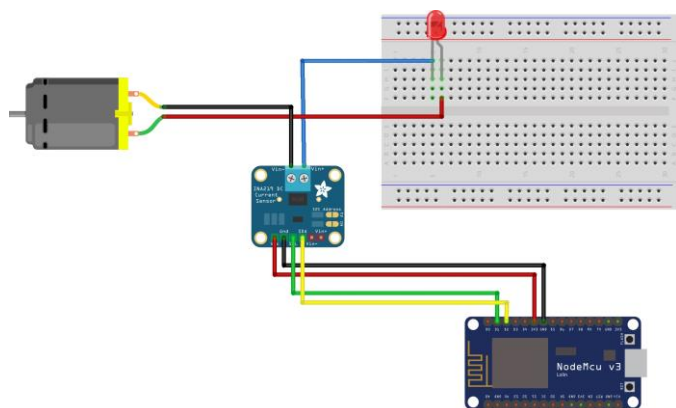
Pada Gambar 9 berupa flow chart, menunjukkan proses kerja dari rancang bangun alat monitoring sistem pembangkit tenaga angin. Tahap pertama yaitu program memulai proses inialisasi dengan bagian port board yang menjadi sumber komunikasi antara berbagai komponen. Pada tahap kedua, sistem akan menyambungkan modul ESP8266 dengan jaringan internet (*Wifi*), proses tersebut dilakukan agar NodeMCU dapat memproses dan mengirimkan data yang telah dihasilkan dari sensor INA 219 ke *software* Blynk. Tahap ketiga, saat generator berputar, program secara otomatis akan berkomunikasi menggunakan data serial agar dapat mengolah data tegangan, arus, dan daya dari sensor INA 219. Data tersebut dikirimkan ke Blynk sebagai tempat monitoring berbasis IoT. LED digunakan sebagai indikator sistem, apakah ada energi yang dihasilkan dari generator atau tidak.



Gambar 9. Flow Chart

G. Perancangan Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin

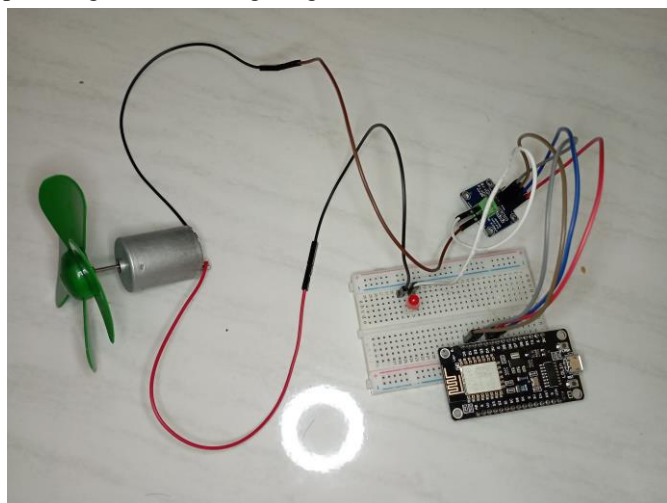
Dalam perancangan dan pembuatan diagram wiring sistem monitoring pembangkit listrik tenaga angin meliputi beberapa komponen yang digunakan yaitu NodeMCU 8266, Generator DC, Sensor INA 219 dan LED. Pada bagian input sensor ina 219 bekerja sebagai pengukur tegangan, arus, dan daya dari energi yang dihasilkan oleh generator terhubung pada pin D1 dan D2. Sedangkan pada bagian output LED yang terhubung dengan sensor dan generator sebagai indikator penyaluran energi ketika generator berputar. Bentuk diagram wiring rancangan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Wiring Perancangan Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin

IV. HASIL DAN ANALISA

Setelah proses perencanaan dan perancangan alat, terbentuklah sebuah sistem monitoring terhadap pembangkit listrik tenaga angin berbasis *Internet of Things (IoT)*. Perangkat tersebut berfungsi untuk mengukur dan memantau energi yang dihasilkan dari perputaran generator berupa tegangan, arus, dan daya serta LED sebagai indikator adanya energi yang dihasilkan dari generator yang dapat di akses melalui *software* Blynk. Berikut hasil rancang bangun *prototype* monitoring sistem pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 11. Hasil Perancangan

A. Hasil Pengujian Sensor INA 219

Pengujian ini dilakukan untuk dapat mengetahui bahwa sensor INA 219 dapat mengukur tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan generator dengan tepat dan akurat. Proses pengukuran dilakukan dengan menghubungkan alat monitoring ke *output* generator PLTB yang nantinya sensor INA 219 akan mengukur besarnya tegangan, arus, dan daya dari generator PLTB. Pengujian dilakukan menggunakan kipas angin dengan variasi jarak 40cm, 20cm, dan 10cm dengan kecepatan putaran kipas angin konstan. Hasil dari pengujian sensor INA 219 ditampilkan pada Tabel 1.

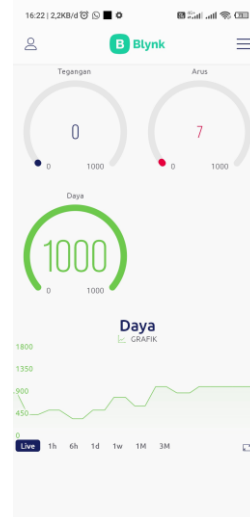
Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor INA 219 Pada PLTB

No.	Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	40	0.86	0.1	86.4
2	40	0.86	0.3	258.01
3	40	0.86	0.3	258.01
4	20	0.87	5	4342.5
5	20	0.87	4.5	3926.07
6	20	0.87	4.5	3926.07
7	10	0.87	5.7	4951.53
8	10	0.87	7.3	6370.93
9	10	0.87	7.3	6370.93

Berdasarkan hasil pengujian sensor, peningkatan nilai tegangan yang dihasilkan berdasarkan variasi 3 jarak berbeda dikatakan cukup stabil, namun pada nilai arus terjadi peningkatan yang signifikan terhadap kondisi jarak sehingga berpengaruh terhadap nilai daya yang dihasilkan.

B. Hasil Pengujian Blynk (Tampilkan semua grafik yang ada di blynk)

Dalam pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil monitoring dari perangkat dapat dikirim dan ditampilkan ke aplikasi Blynk. Aplikasi Blynk menampilkan hasil monitoring secara *real time* dengan tampilan animasi dan grafik, sehingga pengguna dapat mengamati data monitoring yang digunakan dalam penelitian. Hasil dari pengujian ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan IoT Blynk

### C. Hasil Pengujian Menggunakan LED

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah energi yang dihasilkan dari perputaran generator PLTB mampu menghidupkan sebuah beban yang berupa LED. Hasil pengujian LED ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Dengan Beban LED

No.	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	LED
1	0.86	0.1	86.4	Redup
2	0.86	0.3	258.01	Redup
3	0.86	0.3	258.01	Redup
4	0.87	5	4342.5	Terang
5	0.87	4.5	3926.07	Terang
6	0.87	4.5	3926.07	Terang
7	0.87	5.7	4951.53	Sangat Terang
8	0.87	7.3	6370.93	Sangat Terang
9	0.87	7.3	6370.93	Sangat Terang

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada alat monitoring dalam 3 keadaan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Monitoring sistem PLTB dengan menggunakan sensor ina 219 dapat bekerja secara optimal, sehingga dapat memberikan data pengukuran energi dari PLTB dengan akurat.
2. Perbedaan jarak turbin dengan kipas angin sebagai indikator kecepatan angin tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya nilai tegangan yang dihasilkan.
3. Perbedaan jarak turbin dengan kipas angin sebagai indikator kecepatan angin memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya nilai arus yang dihasilkan, sehingga berpengaruh terhadap besar daya yang dihasilkan turbin.
4. Monitoring sistem PLTB berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan NodeMCU ESP8266 dapat mengirimkan data hasil pengukuran dari sensor ke *software* Blynk dengan waktu pengiriman data secara *realtime*.
5. Besarnya nilai tegangan yang dihasilkan tidak berpengaruh terhadap kondisi LED, namun kondisi LED dipengaruhi oleh besarnya arus yang dihasilkan oleh turbin.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang bersedia membantu kami dalam menyelesaikan penelitian ini

dan tim redaksi Jurnal Teknologi Elektro yang telah menerbitkan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. N. Fuadi and S. Attamimi, "Sistem Pemantau Kecepatan Angin dan Arah Angin Untuk Engine Ground Run Area Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 129–129, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i3.005>.
- [2] M. Adam, "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi)*, vol. 2, no. 1, Jul. 2019, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v2i1.3648>.
- [3] O. Derek, E. K. Allo, and N. M. Tulung, "Rancang bangun alat monitoring kecepatan angin dengan koneksi wireless menggunakan arduino uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 1–7, 2016, Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/13199>.
- [4] H. S. Pangaribuan, "Sistem Monitoring Data Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Mikrokontroler Atmega32," *Jurnal ELPOTecs*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2020, doi: <https://doi.org/10.51622/elpotecs.v3i2.464>.
- [5] M. Padmika, I. S. Wibawa, and N. L. P. Trisnawati, "Perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator," *Buletin Fisika*, vol. 18, no. 2, pp. 68–73, 2017.
- [6] A. A. Maik, R. Fauzi, M. Subito, T. S. Sollu, and A. Alamsyah, "Rancang Bangun Alat Monitoring Output Modul Pltb (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin), Berbasis Data Logger," *Foristek*, vol. 12, no. 1, pp. 21–29, May 2022, doi: <https://doi.org/10.54757/fs.v12i1.141>.
- [7] A. Nurdianto and S. I. Haryudo, "Rancang bangun prototype pembangkit listrik tenaga angin menggunakan turbin angin savonius," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v9n1.p%25p>.
- [8] L. H. Fang, and R. B. Abd Rahim, "Design of Savonius model wind turbine for power catchment," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 3, p. 2285, 2022, doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2285-2299>.
- [9] Z. Dzulfikri, N. Nuryanti, and Y. Erdani, "Design and implementation of artificial neural networks to predict wind directions on controlling yaw of wind turbine prototype," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 1, no. 1, pp. 20–26, 2020, doi: <https://doi.org/10.18196/jrc.1105>.
- [10] R. Sharma and U. K. Madawala, "The concept of a smart wind turbine system," *Renewable energy*, vol. 39, no. 1, pp. 403–410, Mar. 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.051>.
- [11] T. Nusa, S. R.U.A. Sompie, and M. Rumbayan, "Sistem monitoring konsumsi energi listrik secara real time berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 4, no. 5, pp. 19–26, 2015.
- [12] N. Gusriani and M. Yuhendri, "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Arduino Berbasis GUI Matlab," *JTEIN*, vol. 1, no. 2, pp. 229–233, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v1i2.76>.
- [13] F. Aryanto, M. Mara, and M. Nuarsa, "Pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal," *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [14] R. Sumiati, K. Amri, and H. Hanif, "Rancang bangun micro turbin angin pembangkit listrik untuk rumah tinggal di daerah kecepatan angin rendah," *Prosiding Semnastek*, vol. 1, no. 1, 2014.