BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Indonesia memiliki potensi energi matahari yang besar karena berada di wilayah tropis dan dekat dengan garis khatulistiwa. Kondisi ini m embuat Indonesia mendapatkan sinar matahari hampir sepanjang tahun. Energi matahari dapat dimanfaatkan menggunakan panel surya untuk menghasilkan energi listrik. Menurut Handayani dan Ariyanti [7], sebagian besar wilayah Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari yang cukup untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Energi terbarukan seperti energi surya perlu terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia [8]. Panel surya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi penggunaan listrik dari PLN. Pada penelitian ini, energi listrik dari panel surya digunakan untuk menyuplai sistem *buck-boost converter* yang kemudian memberikan tegangan kepada *heater* untuk memanaskan pasir silika sebagai media penyimpan energi termal.

Buck-boost converter merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang mampu menaikkan *(boost)* maupun menurunkan *(buck)* tegangan sesuai kebutuhan beban. Penggunaan *buck-boost converter* pada sistem panel surya bertujuan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran akibat perubahan intensitas cahaya matahari yang menyebabkan tegangan panel surya menjadi tidak stabil. *Buck-boost converter* digunakan pada sistem pengisian baterai panel surya agar tegangan keluaran tetap stabil meskipun tegangan masukan relatif berubah akibat intensitas sinar matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *buck-boost converter* mampu bekerja pada rentang tegangan *input* 10–17,5 V dengan tegangan *output* stabil pada kisaran 13,45–13,85 V [9].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses *monitoring* sistem kelistrikan dilakukan secara *real-time* melalui jaringan internet. *Monitoring* berbasis IoT mempermudah pengguna dalam mengetahui kondisi tegangan dan arus tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung. *Monitoring* arus DC panel surya berbasis Blynk menunjukkan bahwa sistem *monitoring* mampu

menampilkan data secara *real-time* dan mempermudah proses pemantauan kondisi panel surya [10].

Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan kondisi lingkungan. Perubahan waktu pada siang hari menyebabkan intensitas cahaya berubah sehingga tegangan keluaran panel surya juga mengalami perubahan. Panel surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan suhu lingkungan sehingga diperlukan sistem pengendalian tegangan menggunakan *buck-boost converter* agar daya keluaran tetap optimal [10]. Perubahan intensitas cahaya matahari pada PLTS menyebabkan tegangan masukan konverter relatif berubah sehingga diperlukan metode pengendalian untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran [9].

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *buck-boost converter* dan sistem *monitoring* berbasis IoT dapat meningkatkan kestabilan tegangan serta mempermudah proses pemantauan pada sistem *sand battery* berbasis panel surya. Sistem yang dirancang juga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai teknologi penyimpanan energi terbarukan yang lebih modern dan efisien.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari alam dan dapat diperbarui secara alami sehingga ketersediaannya dapat digunakan secara berkelanjutan. Penggunaan energi terbarukan saat ini menjadi sangat penting karena kebutuhan energi listrik terus meningkat, sedangkan sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam jumlahnya semakin terbatas. Selain itu, penggunaan energi fosil secara terus-menerus dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dan meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim. Energi fosil menyebabkan peningkatan emisi gas karbon dioksida yang dapat merusak lingkungan dan memicu perubahan iklim sehingga diperlukan pemanfaatan energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi yang lebih ramah lingkungan [2].

Salah satu jenis energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan adalah energi surya. Energi surya dipilih karena memiliki sumber energi yang melimpah, mudah diperoleh, dan tersedia hampir sepanjang tahun terutama di negara tropis seperti Indonesia. Energi matahari dapat dimanfaatkan menggunakan panel surya atau PLTS untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan pada berbagai sistem kelistrikan. Penggunaan PLTS menjadi solusi energi terbarukan karena mampu menyediakan energi listrik secara mandiri dengan sumber energi yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi konvensional [12].

Penggunaan energi terbarukan memiliki berbagai kelebihan dibandingkan energi konvensional. Salah satu kelebihannya adalah lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi udara dalam jumlah besar. Energi terbarukan memiliki sumber energi yang tidak akan habis sehingga dapat digunakan dalam jangka panjang. Penggunaan energi terbarukan juga memiliki biaya operasional yang relatif rendah karena sumber energinya berasal langsung dari alam. Selain ramah lingkungan, energi terbarukan juga dapat diterapkan pada daerah yang sulit dijangkau jaringan listrik sehingga dapat membantu penyediaan energi listrik secara mandiri. Pengembangan teknologi energi terbarukan saat ini juga semakin maju karena dapat dikombinasikan dengan sistem penyimpanan energi dan teknologi *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien dan mudah dipantau secara *real-time.*

2.2.2 Panel Surya

Panel surya atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Proses perubahan energi tersebut memanfaatkan prinsip efek *photovoltaic*, yaitu fenomena munculnya tegangan listrik ketika permukaan semikonduktor terkena cahaya matahari. Energi listrik yang dihasilkan panel surya berupa arus searah atau *Direct Current* (DC) yang dapat digunakan secara langsung maupun disimpan ke dalam media penyimpanan energi.

Penggunaan panel surya saat ini semakin berkembang karena merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki sumber energi yang melimpah. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang cukup besar karena mendapatkan sinar matahari hampir sepanjang tahun. Panel surya banyak dimanfaatkan sebagai alternatif pembangkit listrik untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Prinsip kerja panel surya dimulai ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya. Cahaya tersebut akan diserap oleh material semikonduktor sehingga menghasilkan pergerakan elektron dan membentuk energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti intensitas cahaya matahari, suhu lingkungan, arah pemasangan panel, dan luas permukaan panel surya. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya, maka tegangan dan daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar [2]. Panel surya bekerja dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari serta memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan [13]. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya memiliki peran penting dalam pengembangan energi bersih yang berkelanjutan.

Gambar 2. 1 Panel Surya

Tegangan keluaran panel surya bersifat tidak stabil karena dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca dan waktu penyinaran matahari pada siang hari. Pada pagi hari dan sore hari, intensitas cahaya matahari cenderung lebih rendah sehingga tegangan yang dihasilkan panel surya menjadi kecil. Sedangkan pada siang hari ketika intensitas cahaya matahari tinggi, tegangan keluaran panel surya akan meningkat. Perubahan tegangan tersebut dapat mempengaruhi performa sistem

penyimpanan energi sehingga diperlukan suatu sistem pengendali tegangan untuk menjaga kestabilan *output*.

Tabel 2- 1 Spesifikasi Panel Surya

Parameter	Keterangan
Max Power (Pmax)	540WP
Open Circuit Voltage (VOC)	49,65 Volt
Short Circuit Current (ISC)	13,92 Ampere
Max Power Current (Imp)	13,04 Ampere
Max Power Voltage (VMP)	41,80 Volt
Dimensi	2276 x 1134 x 30 mm

Berdasarkan spesifikasi panel surya, daya maksimum panel adalah 540 W dengan tegangan pada titik daya maksimum sebesar 41,8 V. Besarnya arus kerja panel secara teoritis dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$I = \frac{P}{V}$$

Dengan:

I = Arus listrik (A)

P = Daya listrik (W)

V = Tegangan listrik (V)

Substitusi nilai:

$$I = \frac{540}{41{,}8} = 12{,}92\ A$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, arus kerja panel surya berada pada kisaran jika dibulatkan 13 A. Nilai tersebut mendekati nilai arus pada titik daya maksimum Imp berdasarkan spesifikasi panel, yaitu sebesar 13,04 A. Dengan demikian, arus kerja panel surya yang digunakan pada sistem berada pada kisaran 13 A.

Meskipun panel surya memiliki arus kerja maksimum sekitar 13 A, arus tersebut tidak secara langsung masuk ke pin ADC ESP32. Jalur pengukuran tegangan menggunakan rangkaian *voltage divider* dengan resistor 150 kΩ dan 10

kΩ yang memiliki resistansi total sebesar 160 kΩ. Berdasarkan tegangan kerja panel sebesar 41,8 V arus yang mengalir pada rangkaian pembagi tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$I = \frac{V}{R}$$

Dengan:

I = arus listrik (A)

V = tegangan listrik (V)

R = resistansi/hambaran listrik (Ω)

Substitusi nilai:

$$I = \frac{41{,}8}{160.000} = 0{,}000261\ A$$

Sehingga diperoleh arus sebesar 0,261 mA. Nilai tersebut menunjukkan bahwa arus pada rangkaian *monitoring* sangat kecil dibandingkan arus keluaran panel surya. Rangkaian *voltage divider* dialiri sekitar 0,261 mA, sedangkan ESP32 membaca tegangan sekitar 2,68 V pada pin ADC. Pin ADC ESP32 hanya digunakan untuk membaca tegangan pada titik tengah *voltage divider*, sedangkan arus utama panel surya tetap mengalir pada jalur daya menuju *buck-boost converter* dan *heater*.

Selain memperhatikan arus, keamanan resistor juga perlu ditinjau berdasarkan daya yang didisipasikan. Resistor yang digunakan pada rangkaian ini memiliki rating daya sebesar 1/2 W atau 0,5 W.

Resistor 150KΩ

P = I^2R

P = $(0{,}00026125)^2 \times 150.000$

P = 01024

P = 10, 24 mW

Resistor 10KΩ

P = $(0{,}00026125)^2 \times 10.000$

P = 0, 683mW

Meskipun panel surya memiliki arus kerja sekitar 13 A, arus tersebut tidak secara langsung mengalir melalui resistor *voltage divider*. Dengan resistansi total sebesar 160 kΩ dan tegangan kerja panel 41,8 V, arus yang mengalir hanya sebesar 0,261 mA. Daya yang didisipasikan pada resistor 10, 24 mW dan 0, 683mW jauh di bawah rating resistor 1/2 W atau 0,5 W. Arus utama panel sebesar sekitar 13 A tidak menyebabkan resistor *voltage divider* mengalami kerusakan, karena arus tersebut mengalir pada jalur daya menuju *buck-boost converter* dan beban, bukan melalui rangkaian voltage divider.

2.2.3 *Sand Battery*

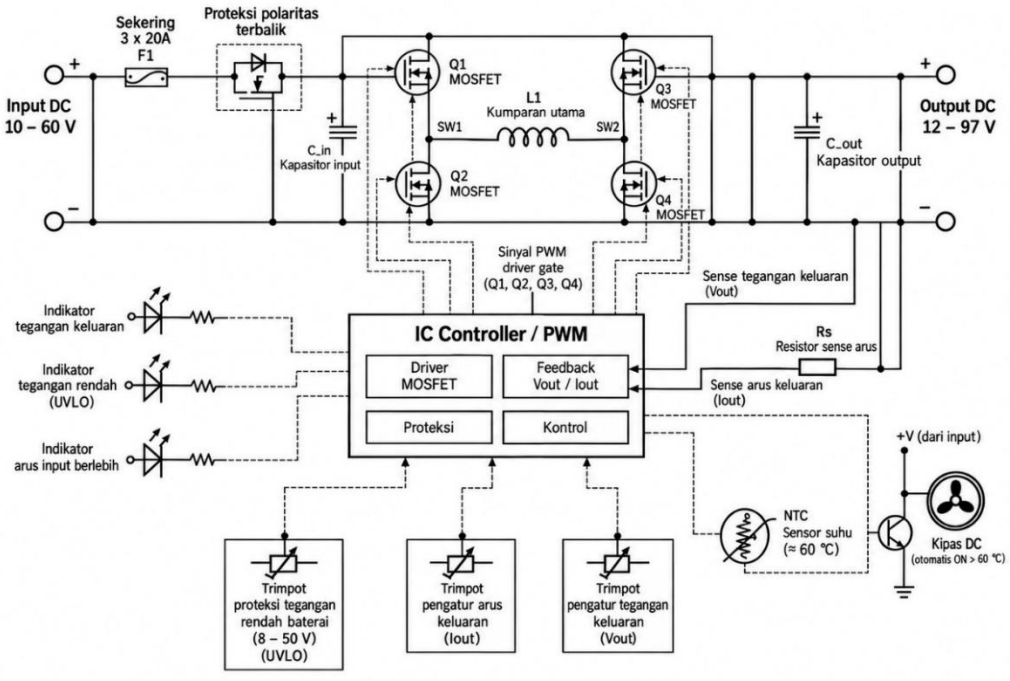
Sand battery merupakan sistem penyimpanan energi termal yang menggunakan media pasir sebagai penyimpan panas. Dalam penelitian ini, media yang digunakan adalah pasir silika karena memiliki kemampuan yang baik dalam menyimpan dan mempertahankan energi panas dalam jangka waktu yang relatif lama. Pasir silika dapat digunakan sebagai media untuk menyimpan energi dalam bentuk panas. Pasir ini memiliki sifat yang stabil pada suhu tinggi, mudah ditemukan, serta memiliki harga relatif murah dibandingkan beberapa teknologi penyimpanan energi lainnya [14].

Pasir silika dapat menjadi salah satu alternatif untuk sistem penyimpanan energi termal dari sumber energi terbarukan seperti panel surya [14]. Penggunaan pasir silika sebagai media penyimpan panas, menunjukkan bahwa pasir silika dapat digunakan dalam sistem penyimpanan panas sensibel [15]. nergi listrik dari panel surya digunakan untuk mengoperasikan *heater*. Sistem ini bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui elemen pemanas (*heater*). Panas yang dihasilkan *heater* kemudian disimpan pada pasir silika dalam sistem *sand battery*, sehingga energi listrik dari panel surya dapat disimpan dalam bentuk energi panas. Panas tersebut disimpan di dalam pasir silika untuk digunakan kembali sesuai kebutuhan.

2.2.4 *Buck-Boost Converter*

Buck-boost converter DC-DC berfungsi untuk mengubah level tegangan arus searah atau *Direct Current* (DC). Konverter ini memiliki kemampuan untuk menaikkan tegangan *(step-up)* maupun menurunkan tegangan (*step-down*) sesuai dengan kebutuhan beban. Kemampuan ini sehingga *buck-boost converter* digunakan pada sistem yang memiliki sumber tegangan yang relatif berubah. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dapat mengalami perubahan selama pengoperasian karena kondisi penyinaran dan lingkungan tidak selalu sama.

Prinsip kerja *buck-boost converter* adalah menyimpan dan melepaskan energi secara berulang melalui induktor untuk mengatur besar tegangan keluaran. Ketika saklar elektronik dalam kondisi *ON*, energi dari sumber disimpan pada induktor. Ketika saklar berada dalam kondisi *OFF*, energi yang tersimpan dilepaskan menuju beban. Jika tegangan *input* lebih tinggi dari tegangan yang dibutuhkan, konverter bekerja untuk menurunkan tegangan (*buck*). Sebaliknya, jika tegangan *input* lebih rendah, konverter bekerja untuk menaikkan tegangan (*boost*). Dengan prinsip tersebut, tegangan *output* dapat disesuaikan terhadap perubahan tegangan *input*.



Gambar 2. 2 Skema Rangkaian Utama *Buck-Boost Converter*

Skema rangkaian *buck-boost converter* dimulai dari terminal *input* DC sebagai jalur masuk tegangan dari panel surya, kemudian tegangan melewati sekering F1 3 × 20 A dan rangkaian proteksi polaritas terbalik untuk melindungi sistem dari arus berlebih maupun kesalahan pemasangan polaritas. Selanjutnya, tegangan distabilkan oleh kapasitor *input* sebelum masuk ke bagian utama konversi yang terdiri dari induktor L1, MOSFET, dioda, dan kapasitor *output* (C*out)*. MOSFET bekerja sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh sinyal PWM dari *IC Controller/PWM*; saat MOSFET dalam kondisi *ON*, energi disimpan pada induktor L1, sedangkan saat *OFF* energi dilepaskan melalui dioda D1 menuju kapasitor *output* dan diteruskan ke beban. Tegangan keluaran dipantau melalui jalur *feedback* V*out*, sedangkan arus dipantau menggunakan *resistor sense Rs*. Besar tegangan dan arus keluaran dapat diatur melalui trimpot V*out* dan trimpot I*out*, sementara trimpot digunakan untuk menentukan batas minimum tegangan masukan. Rangkaian juga dilengkapi LED indikator, sensor suhu NTC, dan kipas DC untuk membantu menjaga kondisi kerja modul agar tetap aman selama beroperasi.

Tabel 2- 2 Komponen Utama Buck Boost Converter

No.	Komponen
1	Terminal *Input* DC
2	Terminal *Output* DC
3	Sekering 3 × 20 A
4	Kapasitor
5	Induktor / Kumparan Utama
6	*MOSFET Switching*
7	Dioda
8	Kapasitor
9	*IC Controller / PWM*
10	Resistor
11	Trimpot Pengatur Tegangan *Output*
12	Trimpot Pengatur Arus *Output*

No.	Komponen
13	Trimpot Proteksi Tegangan Rendah
14	LED
15	Kipas Pendingin
16	*Heatsink*

Komponen utama pada *buck-boost converter* terdiri dari MOSFET, induktor, dioda, kapasitor, serta rangkaian pengendali. MOSFET berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengatur aliran energi dari sumber menuju rangkaian. Induktor berfungsi menyimpan energi dalam bentuk medan magnet ketika saklar berada dalam kondisi *ON* dan melepaskan energi ketika saklar berada dalam kondisi OFF. Dioda berfungsi mengatur arah aliran arus sekaligus mencegah arus mengalir kembali ke arah yang tidak diinginkan. Kapasitor berfungsi menyimpan energi sementara dan membantu meratakan tegangan keluaran agar *ripple* tegangan dapat dikurangi. Rangkaian pengendali digunakan untuk menentukan proses pensaklaran sehingga tegangan keluaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

Tujuan penggunaan *buck-boost converter* adalah untuk memperoleh tegangan keluaran yang berada pada level yang dibutuhkan meskipun tegangan masukan mengalami perubahan. Ketika tegangan masukan lebih tinggi dibandingkan tegangan yang dibutuhkan oleh beban, konverter dapat bekerja untuk menurunkan tegangan. Sebaliknya, ketika tegangan masukan lebih rendah, konverter dapat menaikkan tegangan. Kemampuan tersebut membuat *buck-boost converter* banyak digunakan pada sistem catu daya DC, baterai, kendaraan listrik, sistem energi terbarukan, dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Dalam kondisi *buck*, tegangan masukan lebih tinggi daripada tegangan yang dibutuhkan oleh beban sehingga konverter bekerja untuk menurunkan tegangan. Energi dari sumber diberikan ke beban dalam jumlah yang disesuaikan melalui proses pensaklaran MOSFET. Besarnya tegangan keluaran dipengaruhi oleh nilai *duty cycle* yang digunakan. Pada kondisi ideal, semakin kecil nilai *duty cycle*, maka

tegangan keluaran yang diperoleh juga semakin rendah dibandingkan tegangan masukan.

Dalam kondisi *boost*, tegangan masukan lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan oleh beban. Pada saat MOSFET *ON*, induktor menyimpan energi dari sumber. Ketika MOSFET *OFF*, energi yang tersimpan pada induktor dilepaskan dan digabungkan dengan energi dari sumber sehingga dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi daripada tegangan masukan. Dengan cara tersebut, konverter tetap dapat memberikan tegangan pada level yang dibutuhkan meskipun tegangan sumber mengalami penurunan.

Modul DC-DC converter yang digunakan memiliki daya nominal sebesar 1500 W dengan rentang tegangan input 10–60 V DC. Pada tegangan input 10–30 V, arus input maksimum berada pada kisaran 35–40 A, sedangkan pada tegangan input 31–60 V arus input maksimum berada pada kisaran 30–35 A. Modul memiliki arus tanpa beban atau *static current* sebesar 15 mA. Tegangan output dapat diatur pada rentang 12–97 V DC, dengan kemampuan arus output maksimum sebesar 22 A.

2.2.5 Rangakaian Pembagi Tegangan (*Voltage Divider*)

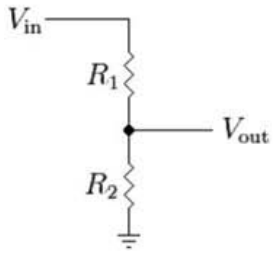
Rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) merupakan rangkaian elektronika yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC menjadi nilai yang lebih kecil menggunakan dua buah resistor yang disusun secara seri. Rangkaian ini digunakan pada sistem *monitoring* tegangan berbasis mikrokontroler untuk mengukur tegangan yang nilainya lebih tinggi dari batas tegangan *input* ADC (*Analog to Digital Converter*). Pada penelitian ini, rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk membaca tegangan *input* dan *output* pada *buck-boost converter* yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32.

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R2}{R1+R2}$$

Keterangan:

- V*out* = Tegangan Keluaran (V*out*)

- V*in* = Tengangan Masukan (V*in*)
- R1 = Resistor 1 (Ω)
- R2 = Resistor 2 (Ω)



Gambar 2. 3 Rangkaian *Voltage Divider*

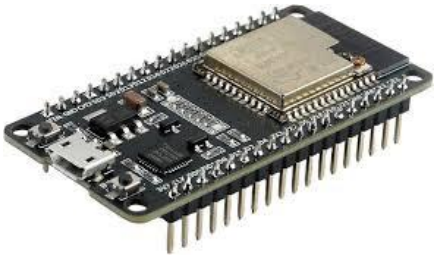
ESP32 memiliki batas tegangan *input* ADC sebesar 3,3 V. Sementara itu, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya maupun *buck-boost converter* dapat mencapai puluhan volt sehingga tidak dapat langsung dihubungkan ke pin ADC ESP32. Diperlukan rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan agar berada dalam rentang aman yang dapat dibaca oleh mikrokontroler tanpa menyebabkan kerusakan pada perangkat. Prinsip kerja rangkaian pembagi tegangan adalah membagi tegangan masukan menjadi tegangan keluaran berdasarkan perbandingan nilai resistor R1 dan R2. Ketika tegangan dari *buck-boost converter* masuk ke rangkaian, tegangan tersebut akan dibagi sehingga menghasilkan tegangan yang lebih rendah dan aman untuk dibaca oleh ADC ESP32.

2.2.6 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali dalam suatu sistem elektronik. ESP32 sering digunakan pada sistem otomatis dan *Internet of Things* (IoT) karena memiliki kemampuan pemrosesan yang cepat serta sudah dilengkapi dengan fitur WiFi dan Bluetooth. Mikrokontroler adalah sebuah chip yang dapat diprogram untuk menjalankan perintah tertentu. Pada ESP32, proses kerja sistem dikendalikan oleh program yang dibuat menggunakan aplikasi seperti Arduino IDE. Program tersebut berisi instruksi untuk membaca data dari sensor, mengolah data, dan mengontrol perangkat lain.

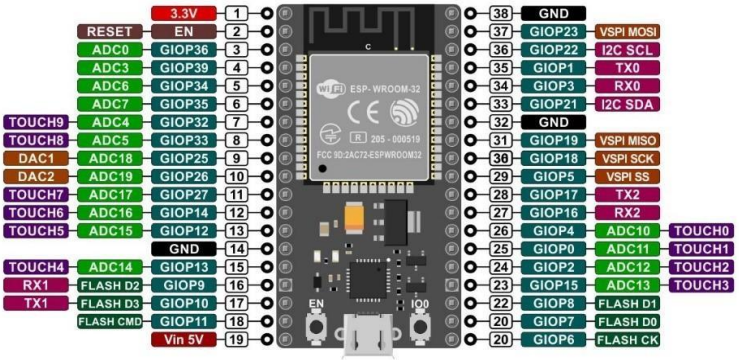
ESP32 memiliki beberapa komponen penting, seperti prosesor (CPU) yang berfungsi untuk mengolah data, memori untuk menyimpan program, serta pin

input/*output* (GPIO) yang digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen. Selain itu, ESP32 juga mendukung komunikasi digital seperti UART, I2C, dan SPI yang memudahkan dalam menghubungkan sensor dan modul tambahan.



Gambar 2. 4 Mikrokontroler ESP32

ESP32 memiliki berbagai kemampuan yang membuatnya banyak digunakan dalam sistem otomatis dan *Internet of Things* (IoT). ESP32 dilengkapi dengan prosesor *dual-core* yang mampu memproses data dengan cepat sehingga sistem dapat merespon kondisi secara *real-time*. Selain itu, ESP32 sudah memiliki fitur WiFi dan Bluetooth, sehingga dapat terhubung ke internet tanpa tambahan modul. Dengan kemampuan ini, data dari sensor dapat dikirim ke Google Spreadsheet untuk *monitoring* dan kontrol jarak jauh.



Gambar 2. 5 Pin *Out* ESP32

Selain kemampuan komunikasi, ESP32 juga memiliki banyak pin *input* dan *output* (GPIO) yang dapat digunakan untuk membaca data dari sensor dan mengontrol perangkat seperti heater atau kipas. ESP32 juga mendukung pembacaan data analog (ADC), keluaran sinyal PWM, serta komunikasi digital seperti UART, I2C, dan SPI yang memudahkan integrasi dengan berbagai modul. Kelebihan lainnya yakni ESP32 memiliki fitur hemat daya sehingga lebih efisien dalam

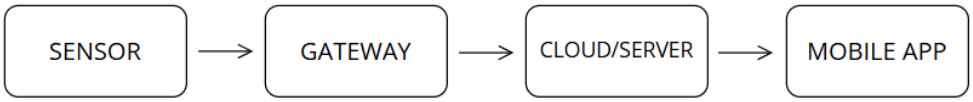
penggunaan energi. Dengan kemampuan tersebut, ESP32 sangat cocok digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem otomatis karena mampu mengolah data, berkomunikasi, dan mengontrol perangkat dalam satu sistem yang terintegrasi.

Tabel 2- 3 Tabel Spesifikasi ESP32

Parameter	Keterangan
Prossesor	Xtensa® 32-bit LX6 *(single/dual-core)*
Kecepatan Clock	80 MHz hingga 240 MHz.
Memori SRAM	520 KB
Memori ROM	448 KB
Memori RTC	16 KB
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4 GHz) hingga 150 Mbps.
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR (klasik) dan *Bluetooth Low Energy* (BLE).
GPIO	34 pin
ADC	12-bit, hingga 18 channel
DAC	2 channel (8-bit)
PWM	Pulse Width Modulation
Tegangan Operasi	2.7 V – 3.6 V
V *input*	5 V
Fitur Tambahan	*Touch sensor*, *Hall sensor*, PWM, keamanan

2.2.7 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah konsep berbagai perangkat dapat saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar data dan dikendalikan secara jarak jauh. Perangkat yang dimaksud dapat berupa sensor, mikrokontroler, maupun alat elektronik lainnya yang dilengkapi dengan koneksi internet. Pada sistem IoT, setiap perangkat akan mengumpulkan data dari lingkungan sekitarnya melalui sensor, kemudian data tersebut dikirim melalui jaringan internet ke server atau aplikasi. Selanjutnya, data dapat ditampilkan, dianalisis, dan digunakan untuk mengambil keputusan secara otomatis maupun manual oleh pengguna.



Gambar 2. 6 Alur *Internet of Things (IoT)*

Fungsi utama IoT adalah untuk mempermudah proses *monitoring*. Dengan adanya IoT, pengguna dapat mengetahui kondisi suatu sistem secara *real-time*. Fungsi IoT memiliki peran yang lebih luas dalam sistem otomatis, antara lain:

a. *Monitoring real-time*; IoT memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi alat secara langsung tanpa harus berada di lokasi. Data seperti suhu dan kelembapan dapat ditampilkan secara terus-menerus melalui aplikasi, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem kapan saja.
b. Penyimpanan dan pengolahan data; data yang dikirim oleh perangkat dapat disimpan di server atau cloud, sehingga bisa digunakan untuk analisis lebih lanjut. Data historis ini penting untuk mengetahui performa sistem dan melakukan evaluasi.
c. Notifikasi atau peringatan; IoT dapat memberikan informasi atau peringatan kepada pengguna jika terjadi kondisi tertentu, seperti suhu terlalu tinggi atau alat mengalami gangguan. Notifikasi ini membantu pengguna untuk mengambil tindakan lebih cepat.
d. Efisiensi waktu dan tenaga; dengan adanya sistem yang terhubung dan otomatis, pengguna tidak perlu melakukan pengecekan secara manual secara terus-menerus, sehingga pekerjaan menjadi lebih praktis dan efisien.

Dalam tugas akhir ini, IoT diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan Google Spreadsheet. Sensor akan mengirimkan data ke ESP32, kemudian diteruskan ke Google Spreadsheet melalui internet. Pengguna dapat memantau kondisi alat secara *real-time*, menerima notifikasi, serta melakukan kontrol tegangan pada *buck-boost converter*.

2.2.8 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan aplikasi berbasis cloud yang dapat digunakan untuk melakukan pencatatan, penyimpanan, dan pemantauan data secara terstruktur melalui jaringan internet. Google Spreadsheet memungkinkan data hasil pembacaan sensor dikirim dan disimpan secara otomatis sehingga dapat diakses oleh pengguna melalui komputer maupun *smartphone*. Penggunaan Google Spreadsheet sebagai media monitoring dapat diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler yang memiliki koneksi internet, seperti ESP32.

Google Spreadsheet digunakan sebagai media untuk menyimpan dan memantau data tegangan *input* dan *output* pada *buck-boost converter* yang terhubung dengan sistem panel surya dan beban *sand battery*. Data hasil pembacaan sensor tegangan diproses oleh ESP32, kemudian dikirim melalui jaringan internet menuju Google Spreadsheet. Data tersebut dicatat secara otomatis berdasarkan waktu pengukuran sehingga pengguna dapat mengetahui perubahan tegangan *input* dan *output* selama sistem beroperasi.

Prinsip kerja *monitoring* menggunakan Google Spreadsheet diawali dengan pembacaan tegangan oleh sensor tegangan yang terhubung dengan ESP32. Nilai tegangan yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 dan dikonversi menjadi nilai tegangan aktual. ESP32 mengirimkan data tersebut melalui koneksi WiFi menuju layanan Google Spreadsheet. Data yang diterima akan disimpan pada lembar kerja secara otomatis sehingga dapat digunakan untuk melakukan pemantauan dan analisis terhadap kinerja *buck-boost converter*. Data yang tersimpan dapat digunakan untuk melihat perubahan tegangan dari waktu ke waktu.

Monitoring tegangan pada sistem PLTS diperlukan untuk mengetahui kondisi tegangan yang dihasilkan oleh panel surya serta tegangan yang diteruskan menuju beban. Penggunaan Google Spreadsheet dapat mempermudah proses pencatatan dan pemantauan karena data hasil pengukuran dapat disimpan secara otomatis dan diakses melalui perangkat yang terhubung dengan internet. Dengan demikian, pengguna tidak perlu melakukan pencatatan hasil pengukuran secara manual menggunakan alat ukur setiap saat. Data yang tersimpan pada Google

Spreadsheet juga dapat digunakan sebagai dokumentasi hasil pengujian dan bahan analisis kinerja sistem.

Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang membaca data dari sensor tegangan *input* dan *output buck-boost converter*. Setelah data diperoleh, ESP32 mengirimkan data tersebut ke Google Spreadsheet melalui jaringan WiFi. Data yang dikirim meliputi waktu pengukuran, tegangan input, dan tegangan output. Selanjutnya, data ditampilkan dalam bentuk tabel dan dapat diolah menjadi grafik untuk mempermudah pengamatan perubahan tegangan selama sistem bekerja.

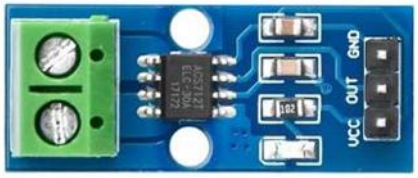
Penggunaan Google Spreadsheet memiliki beberapa keunggulan sebagai media *monitoring*, antara lain dapat menyimpan data dalam jumlah besar, menyediakan pencatatan berdasarkan waktu, memungkinkan data diakses melalui berbagai perangkat, serta memudahkan proses pengolahan dan pembuatan grafik. Data yang tersimpan dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh *buck-boost converter*. Penggunaan Google *Spreadsheet* juga dapat mengurangi kebutuhan perangkat tambahan karena data dapat dipantau melalui perangkat yang telah terhubung dengan internet.

Dalam penelitian ini, Google Spreadsheet digunakan untuk menampilkan dan menyimpan data tegangan *input* dan *output* dari *buck-boost converter* secara berkala. Data yang dibaca oleh sensor tegangan dikirim melalui ESP32 menuju Google Spreadsheet sehingga pengguna dapat memantau perkembangan kondisi tegangan pada sistem panel surya dan beban *sand battery*. Data yang telah tersimpan selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk mengetahui kemampuan *buck-boost converter* dalam mempertahankan kestabilan tegangan yang diberikan kepada beban.

2.2.9 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah alat yang diperuntukkan untuk mengukur arus listrik dalam suatu rangkaian. Sensor ini beroperasi berdasarkan prinsip Efek Hall, yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik. Penggunaan ACS712 cukup sederhana karena sensor ini memiliki tiga pin utama,

yaitu VCC, GND, dan OUT. Sinyal keluaran dari pin OUT dapat dibaca menggunakan pin ADC pada mikrokontroler. Arus yang terdeteksi kemudian dikonversi menjadi sinyal tegangan keluaran yang bisa diinterpretasikan oleh mikrokontroler melalui pin analog atau ADC. ACS712 banyak dipilih karena desainnya yang sederhana dan kemampuan untuk mengukur baik arus DC maupun AC. Sensor ACS712 untuk mendeteksi arus pada beban dengan menggunakan mikrokontroler [17]. Temuan penelitian menunjukkan bahwa sensor ACS712 efektif dalam membaca arus listrik dengan hasil pengukuran yang memuaskan.



Gambar 2. 7 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 juga berfungsi untuk memantau keadaan suatu beban listrik. Suteja dan Antara melakukan studi perbandingan antara sensor ACS712 dan sensor arus SCT013 [18]. ACS712 mampu digunakan untuk mengukur dan memantau arus listrik yang mengalir ke beban. Sensor ACS712 diterapkan untuk membaca arus yang menuju *heater*. Beban yang digunakan yaitu *heater* memakai energi listrik untuk menghasilkan panas. Perubahan pada nilai arus dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi operasional *heater*. Data arus yang dikumpulkan dari sensor dapat dianalisis oleh ESP32 dan digunakan untuk informasi sistem monitoring.

Tabel 2- 4 Spesifikasi ACS712

Parameter	Nilai
Rentang Arus	±20A
Tegangan Operasi	5V DC
Output Tegangan	Analog (0,5V – 4,5V)
Frekuensi Respons	~80 KHz
Akurasi	±1,5%

2.2.10 Elemen *Heater* 500 Watt

Heater befungsi untuk mengubah energi listrik dari panel surya menjadi energi panas yang akan digunakan untuk memanaskan pasir silika di dalam baterai pasir. *Heater* ini memiliki daya kerja 500W dengan tegangan 42V dan arus 11,9A. *Heater* yang digunakan merupakan jenis pemanas berbentuk tubular dengan diameter tabung 8mm dan panjang 40cm dan resistansi nominal sebesar:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{42^2}{500} = 3{,}53\ \Omega$$

Gambar 2. 8 Elemen *Heater*