

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sistem kontrol dan pemantauan yang banyak digunakan dalam berbagai industri untuk mengelola proses secara real-time. Sistem SCADA terdiri dari beberapa komponen utama seperti Human-Machine Interface (HMI), *Remote Terminal Units* (RTU), dan *Programmable Logic Controllers* (PLC). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Smith et al. (2018) dalam jurnal "*Implementation of SCADA Systems in Water Management*" (*Journal of Water Resource Management*), penerapan SCADA dalam sistem pengelolaan air mampu meningkatkan efisiensi operasional dan memungkinkan deteksi dini terhadap permasalahan yang mungkin terjadi. Penelitian ini menyoroti bagaimana SCADA dapat digunakan untuk memantau berbagai parameter seperti tekanan, aliran, dan kualitas air, yang relevan dengan pengelolaan proses reverse osmosis<sup>[1]</sup>.

WinTr adalah perangkat lunak SCADA yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan proses industri. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al. (2020) berjudul "*WinTr as a Flexible SCADA Solution for Industrial Applications*" (*International Journal of Industrial Engineering*), WinTr disebutkan sebagai alat yang fleksibel dan kuat untuk pemantauan dan kontrol proses industri. Perangkat lunak ini menawarkan fitur seperti pemantauan real-time, analisis data, dan alarm, serta kompatibilitas dengan berbagai jenis hardware. Studi ini menemukan bahwa WinTr memiliki antarmuka yang *user-friendly* dan kemampuan integrasi yang baik, membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi industri, termasuk pemantauan sistem reverse osmosis<sup>[2]</sup>.

Dalam jurnalnya yang berjudul "Evaluasi Efektivitas Teknologi Reverse Osmosis untuk Pengolahan Air di Industri" yang diterbitkan dalam *Jurnal Teknologi Lingkungan* dari Universitas Gadjah Mada, Dr. Ir. Retno Wulandari, MT, (2017) membahas secara mendalam tentang efektivitas teknologi reverse osmosis (RO) dalam proses pemurnian air di industri. Penelitian ini mengungkapkan bagaimana teknologi RO, yang menggunakan membran semi-permeabel, efektif dalam menghilangkan berbagai kontaminan dari air, menghasilkan air yang berkualitas tinggi. Data kuantitatif yang disajikan mencakup analisis kinerja membran RO, termasuk parameter seperti flux, rasio recovery, dan penurunan tekanan, serta kualitas air hasil pemurnian yang diukur melalui Total Dissolved

Solids (TDS) dan konduktivitas. Kelebihan utama dari penelitian ini adalah data empiris yang kuat dan relevansi konteks industri Indonesia, sehingga memberikan wawasan yang berharga untuk aplikasi lokal<sup>[3]</sup>.

Penelitian oleh Dr. Ir. Sutanto, MT (2018) yang berjudul "Penerapan SCADA untuk Pengelolaan Air Bersih di PDAM Kota Surabaya" dan diterbitkan dalam Jurnal Teknik Elektro Universitas Surabaya, membahas penerapan SCADA dalam pengelolaan air bersih. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan SCADA dalam sistem pengelolaan air bersih dapat meningkatkan efisiensi operasional dan memungkinkan deteksi dini terhadap permasalahan yang mungkin terjadi<sup>[4]</sup>.

Penelitian yang dilakukan oleh Fahmi Arwibi Raharjo berjudul "Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Sistem Osmosis Menggunakan SCADA" bertujuan untuk menjelaskan cara memonitoring data pada PLTU yang dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti Sensor Ultrasonik, Sensor DHT22, Sensor IR, Sensor Arus, dan Sensor Tegangan, serta menggunakan perangkat lunak WinTr sebagai sistem pengawasan dan dapat menampilkan data secara *real-time*.<sup>[5]</sup>

Tabel 2. 1 Perbandingan Tinjauan Pustaka

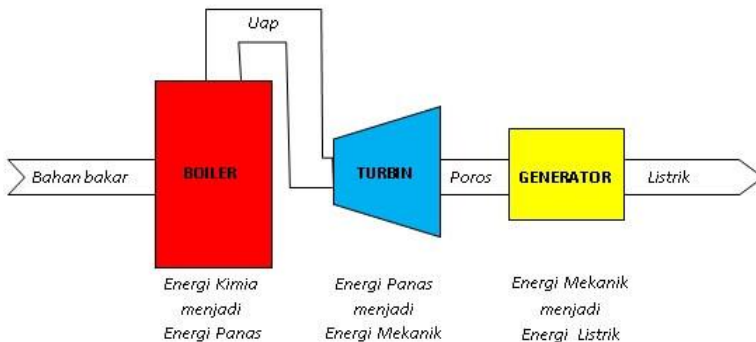
No	Nama (Tahun)	Judul Jurnal	Fitur	Kelebihan dan Kekurangan
1	Smith et al. (2018)	Implementation of SCADA Systems in Water Management	Pemantauan Real-time, Alarm dan Notifikasi, Pengumpulan Data	<b>Kelebihan:</b> Detail penerapan SCADA dalam pengelolaan air. <b>Kekurangan:</b> Tidak membahas penggunaan SCADA khusus untuk reverse osmosis.
2	Zhang et al. (2020)	WinTr as a Flexible	Pemantauan Real-time,	<b>Kelebihan:</b> Fleksibilitas

		SCADA Solution for Industrial Applications	Analisis Data, Kompatibilitas Perangkat	dalam berbagai aplikasi industri dan contoh konkret penggunaannya <b>Kekurangan:</b> Terlalu umum dan hanya fokus pada satu perangkat lunak SCADA.
3	Dr. Ir. Retno Wulandari, MT, (2017)	Evaluasi Efektivitas Teknologi Reverse Osmosis untuk Pengolahan Air di Industri	Pemurnian Air Menggunakan Membran, Pengukuran Kinerja Membran, Analisis Kualitas Air	<b>Kelebihan:</b> Data kuantitatif mendalam tentang efektivitas RO dan relevansi untuk industri Indonesia. <b>Kekurangan:</b> Fokus pada beberapa studi kasus dan kurang membahas sistem pemantauan seperti SCADA.
4	Dr. Ir. Sutanto, MT (2018)	Penerapan SCADA untuk Pengelolaan Air Bersih di PDAM Kota Surabaya	Pemantauan Real-time, Analisis Data, Kompatibilitas Perangkat	<b>Kelebihan:</b> Dapat digunakan dalam berbagai

				aplikasi industri. <b>Kekurangan:</b> Tidak mendetail untuk aplikasi khusus.
5	Fahmi Arwibi Raharjo (2024)	Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pada Sistem Osmosis Menggunakan SCADA	SCADA WinTr, ESP32, Sensor Ultrasonik, Sensor DHT22, Sensor IR, Sensor Arus, Sensor Tegangan	<b>Kelebihan:</b> Dapat monitoring secara <i>real-time</i> <b>Kekurangan:</b> Masih menggunakan serial kabel

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi panas untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap ini kemudian digunakan untuk

memutar turbin yang terhubung dengan generator, sehingga menghasilkan listrik. Proses ini melibatkan beberapa tahap utama, seperti pemanasan air dalam boiler, pembentukan uap, dan pemanfaatan uap untuk memutar turbin. Air yang digunakan dalam proses ini harus memiliki kualitas tinggi atau bisa menggunakan air demin (air tanpa mineral) untuk mencegah korosi dan kerusakan pada peralatan, sehingga diperlukan sistem pemurnian air yang efektif.

### 2.2.2 Sistem Reverse Osmosis



Gambar 2. 2 Reverse Osmosis

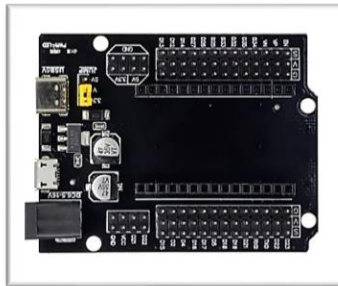
Sistem reverse osmosis (RO) adalah teknologi pemurnian air yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan dan mineral dari air dengan menggunakan membran semi-permeabel. Dalam konteks PLTU, sistem RO berperan penting dalam memastikan kualitas air yang digunakan dalam boiler dan sistem lainnya. Air yang telah diproses melalui RO memiliki tingkat kemurnian yang tinggi, sehingga dapat mencegah penumpukan mineral dan korosi pada peralatan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dan umur operasional pembangkit.

### 2.2.3 *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sistem pengendalian dan pengawasan yang digunakan dalam berbagai industri, termasuk pembangkit listrik. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data secara real-time dan pemantauan proses industri dari jarak jauh. Dalam PLTU, SCADA digunakan untuk memantau kinerja komponen-komponen utama, seperti suhu permukaan boiler, RPM pada turbin, dan berbagai parameter lainnya. Data dapat dipantau secara terus-menerus, memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan korektif dengan cepat jika terjadi masalah.

### 2.2.4 Board Module ESP32

Board ESP32 adalah papan pengembangan yang menggunakan mikrokontroler ESP32, sebuah chip sistem-on-chip (SoC) dari Espressif Systems. Board ini menawarkan dua inti prosesor Xtensa® 32-bit, Wi-Fi, Bluetooth 4.2 BLE, dan berbagai antarmuka komunikasi seperti GPIO, ADC, DAC, UART, SPI, dan I2C. Dengan memori SRAM 520 KB dan Flash memory 4 MB, board ESP32 menyediakan platform yang kuat dan fleksibel untuk pengembangan aplikasi Internet of Things (IoT) dan elektronik, memungkinkan konektivitas yang cepat, kontrol perangkat, serta pemantauan dan analisis data.



Gambar 2. 3 Board Module ESP32

Tabel 2. 2 Spesifikasi Board Module ESP32

Spesifikasi	Detail
Mikrocontroller	ESP32
Core	Dual-core 32-bit LX6
Clock Speed	Up to 240 MHz
Memori Flash	4 MB (bisa bervariasi, tergantung modul)
RAM	520 KB
WIFI	802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE

GPIO Pins	34 (jumlah bervariasi tergantung pada modul)
Analog Input	18 channels (12-bit ADC)
Analog Output	2 channels (8-bit DAC)
PWM Channels	16
UART	3 UART (hardware serial)
SPI	4 SPI (Master/Slave)
I2C	2 I2C (Master/Slave)
I2S	2 I2S interfaces (for audio)
CAN	1 CAN interface (Controller Area Network)
Temperature Sensor	Internal temperature sensor
Power Supply	3.0V to 3.6V (typical 3.3V)
Operating Temperature	-40°C to 85°C
Development Support	Arduino IDE, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework)

### 2.2.5 Module ESP32

Module ESP32 adalah sebuah modul pengembangan yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dari Espressif Systems, menyediakan solusi kuat untuk proyek elektronik dan Internet of Things (IoT). Modul ini menggabungkan prosesor dual-core Xtensa® 32-bit, dukungan nirkabel untuk Wi-Fi (802.11 b/g/n) dan Bluetooth 4.2 BLE, serta berbagai antarmuka I/O seperti GPIO, ADC, DAC, UART, SPI, dan I2C. Dengan fitur ini, modul ESP32 memudahkan pengembangan aplikasi canggih dengan kemampuan komunikasi nirkabel dan kontrol yang fleksibel, sering digunakan dalam automasi rumah, perangkat IoT, dan sistem pengendalian jarak jauh.



Gambar 2. 4 Module ESP32

Tabel 2. 3 Spesifikasi Module ESP32

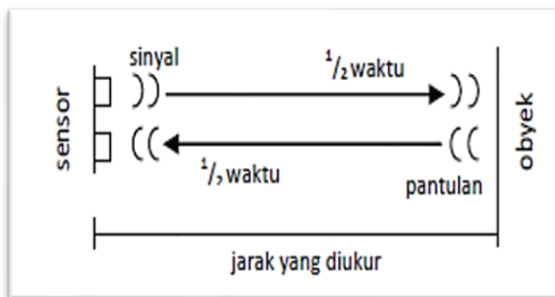
Spesifikasi	Detail
Mikrocontroller	ESP32
Core	Dual-core 32-bit LX6
Clock Speed	Up to 240 MHz
Memori Flash	4 MB (bisa bervariasi, tergantung modul)
RAM	520 KB
WIFI	802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE
GPIO Pins	34 (jumlah bervariasi tergantung pada modul)
Analog Input	18 channels (12-bit ADC)
Analog Output	2 channels (8-bit DAC)
PWM Channels	16
UART	3 UART (hardware serial)
SPI	4 SPI (Master/Slave)



I2C	2 I2C (Master/Slave)
I2S	2 I2S interfaces (for audio)
CAN	1 CAN interface (Controller Area Network)
Temperature Sensor	Internal temperature sensor
Power Supply	3.0V to 3.6V (typical 3.3V)
Operating Temperature	-40°C to 85°C
Development Support	Arduino IDE, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework)

### 2.2.6 Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Sensor Ultrasonik HY-SRF05 adalah perangkat pengukur jarak yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi objek dan mengukur jarak dari sensor ke objek tersebut. Sensor ini bekerja dengan mengirimkan pulsa ultrasonik dan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk gelombang tersebut memantul kembali ke sensor. Dapat mengukur jarak dari 2 cm hingga 4 m dengan akurasi sekitar  $\pm 3$  mm, dan beroperasi pada frekuensi 40 kHz. Sensor ini biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi seperti robotika dan sistem pengukuran jarak otomatis, berfungsi dengan tegangan 5V dan terhubung melalui antarmuka digital untuk pengolahan sinyal.



Gambar 2. 5 Jarak Ukur Sensor Ultrasonik

Lamanya waktu sebanding dengan dua kali jarak sensor pada objek, sehingga didapat jarak sensor dengan objek yang bisa ditentukan dengan Persamaan 1.

$$\text{Jarak} = \text{Kecepatan suara} \times \text{waktu pantul} / 2$$

Sensor ultrasonik HC SR04 memiliki prinsip yang sama untuk mengukur jarak seperti sensor ultrasonik pada umumnya. Prinsip pengukuran pada modul sensor ultrasonik HCSR04 ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$S = (t_{in} \times v) \div 2$$

Keterangan:

S = Jarak antara sensor ultrasonik dengan objek yang dideteksi

V = cepat rambat gelombang ultrasonik di udara (340 m/s)

$t_{in}$  = Selisih waktu pemancaran dan penerimaan pantulan gelombang.



Gambar 2. 6 Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Spesifikasi	Detail
Jenis Sensor	Sensor Ultrasonik
Model	HY-SRF05
Jarak Pengukuran	2 cm hingga 4 m
Resolusi	1 cm
Sudut Pengukuran	Sekitar 15 derajat
Frekuensi Operasi	40 kHz
Tegangan Operasi	5V DC

Konsumsi Daya	Sekitar 15 mA saat aktif
Antarmuka	Digital (Trigger dan Echo)
Dimensi	45 mm x 20 mm x 15 mm (panjang x lebar x tinggi)
Berat	Sekitar 10 gram
Akurasi	$\pm 3$ mm di rentang 2 cm hingga 4 meter

### 2.2.7 Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah perangkat sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif dengan akurasi yang tinggi. Sensor ini mampu memberikan data suhu dalam rentang  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $+80^{\circ}\text{C}$  dengan akurasi  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , serta mengukur kelembapan relatif dari 0% hingga 100% RH dengan akurasi  $\pm 2\%$  RH. Menggunakan protokol komunikasi satu kabel, DHT22 mudah diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32, menjadikannya pilihan populer untuk aplikasi dalam sistem pemantauan lingkungan dan kontrol iklim. Sensor ini juga dikenal dengan konsumsi daya yang rendah dan kemampuan untuk memberikan pembacaan yang stabil dan dapat diandalkan.



Gambar 2. 7 Sensor DHT22

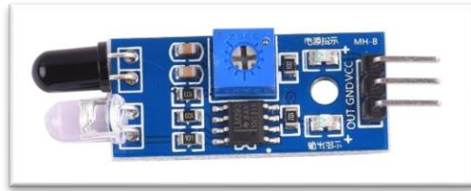
Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor DHT22

Spesifikasi	Detail
Jenis Sensor	Digital Temperature and Humidity Sensor
Range Suhu	$-40^{\circ}\text{C}$ hingga $+80^{\circ}\text{C}$

Akurasi Suhu	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Range Kelembapan	0% hingga 100% RH
Akurasi Kelembapan	$\pm 2\%$ RH
Resolusi Suhu	$0.1^{\circ}\text{C}$
Resolusi Kelembapan	0.1% RH
Konsumsi Daya	1.5 mA (pengukuran aktif), 60 $\mu\text{A}$ (siaga)
Tegangan Operasi	3.3V hingga 6V
Ukuran	25mm x 15mm x 7.7mm
Berat	2g
Waktu Pengukuran	Sekitar 2 detik antara pembacaan

### 2.2.8 Sensor IR (Infrared)

Sensor IR (Infrared) adalah perangkat yang menggunakan cahaya inframerah untuk mendeteksi objek, jarak, atau gerakan. Sensor ini dapat berupa pemancar yang memancarkan cahaya inframerah dan penerima yang mengukur cahaya yang dipantulkan atau mengidentifikasi perubahan dalam radiasi inframerah untuk mendeteksi pergerakan. Sensor IR banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengukuran jarak, deteksi gerakan, dan sistem penghindaran rintangan pada robot. Mereka terkenal karena kemampuannya bekerja tanpa kontak fisik dan konsumsi daya yang rendah, menjadikannya pilihan populer dalam sistem elektronik dan otomasi.



Gambar 2. 8 Sensor IR (Infrared)

Tabel 2. 6 Spesifikasi Sensor Infrared (Infrared)

Spesifikasi	Detail
Tipe Sensor	Sensor Infrared (IR)
Rentang Pengukuran	0 - 10 cm (atau sesuai dengan jenis sensor)
Jarak Deteksi Maksimum	50 cm - 2 meter (tergantung pada model)
Resolusi	0.1 cm - 1 mm (tergantung pada model)
Jenis Output	Digital (ON/OFF) atau Analog (tegangan)
Tegangan Operasi	3.3V - 5V DC
Konsumsi Daya	10 mA - 50 mA (tergantung pada model)
Waktu Respons	< 10 ms (tergantung pada model)
Kondisi Lingkungan	-10°C hingga +60°C
Ukuran	Beragam, umumnya kecil dan kompak
Jenis Sensor IR	Emitter dan detektor, atau sensor jarak berbasis refleksi
Akurasi	$\pm 1$ cm - $\pm 10$ mm (tergantung pada model)

### 2.2.9 Sensor Arus DC 5A

Sensor arus DC adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur arus listrik yang mengalir dalam rangkaian DC (arus searah). Sensor ini dapat berbasis shunt atau efek Hall. Sensor berbasis shunt mengukur jatuhnya tegangan melalui resistor kecil yang ditempatkan dalam jalur arus, sedangkan sensor berbasis efek Hall menggunakan prinsip efek Hall untuk mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh arus. Data yang diukur oleh sensor ini kemudian diterjemahkan menjadi sinyal analog atau digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler atau sistem pemantauan. Sensor arus DC sering digunakan dalam aplikasi seperti pengawasan konsumsi energi, perlindungan perangkat, dan kontrol sistem tenaga.



Gambar 2. 9 Sensor Arus DC 5A

Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor Arus DC 5V

Spesifikasi	Detail
Jenis Sensor	Sensor Arus DC (misalnya: berbasis shunt, berbasis efek Hall)
Rentang Arus	0-5A, 0-30A, 0-100A
Tegangan Output	0-5V, 0-10V, 0-3.3V
Akurasi	$\pm 1\%$ dari rentang penuh
Resolusi	0.1A, 0.01A

Tegangan Kerja	4.5-5.5V, 3.3V
Konsumsi Daya	10mA, 20mA
Temperatur Kerja	-40°C hingga +85°C
Impedansi Beban	>10k $\Omega$
Keluaran	Analog atau Digital

### 2.2.10 Sensor Tegangan 0-25V DC

Sensor tegangan adalah perangkat elektronik yang dirancang untuk mengukur dan memantau tegangan listrik dalam suatu rangkaian. Biasanya, sensor ini mengubah tegangan input menjadi sinyal output yang lebih mudah diukur, seperti sinyal analog atau digital, yang kemudian dapat diproses atau dianalisis oleh sistem kontrol atau mikrokontroler. Sensor tegangan sering digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan sistem daya, pengujian elektronik, dan pengendalian otomatis, untuk memastikan bahwa tegangan berada dalam batas yang aman dan sesuai dengan spesifikasi desain. Dengan akurasi tinggi dan kemampuan untuk bekerja dalam berbagai rentang tegangan, sensor ini merupakan komponen penting dalam menjaga kinerja dan keamanan sistem listrik.



Gambar 2. 10 Sensor Tegangan 0-25V DC

Tabel 2. 8 Sensor Tegangan 0-25V DC

Spesifikasi	Detail
Tegangan Operasi	3.3V, 5V
Rentang Tegangan	0-25V
Akurasi	±1% dari rentang
Output	Analog, Digital
Jenis Output Analog	0-5V
Tegangan Referensi	5V
Konsumsi Arus	5mA
Rentang Suhu Operasi	-40°C hingga +85°C
Dimensi	30mm x 20mm
Pemasangan	Permukaan, Panel
Aplikasi	Monitoring Tegangan, Pengukuran

### 2.2.11 Watt Meter

Watt meter adalah alat pengukur yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang dikonsumsi oleh sebuah perangkat atau sistem dalam satuan watt. Alat ini dapat berupa analog atau digital, dan berfungsi untuk menampilkan besarnya daya yang digunakan dalam rangkaian listrik, baik untuk arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC). Watt meter membantu dalam pemantauan dan analisis efisiensi energi, serta untuk memastikan bahwa peralatan beroperasi dalam batas daya yang aman dan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Dengan mengukur daya secara akurat, watt meter memainkan peran penting dalam manajemen energi dan pemeliharaan sistem listrik.





Gambar 2. 11 Watt Meter

Tabel 2. 9 Spesifikasi Watt Meter

Spesifikasi	Detail
Tipe	Digital/Analog
Rentang Pengukuran	0-1000
Akurasi	$\pm 1\%$
Tegangan Input	100-240V AC
Arus Maksimum	10A
Frekuensi Operasi	50/60Hz
Resolusi	0.1W
Output	tampilan LCD
Konektivitas	USB, RS-232, dll.
Dimensi	100x80x50 mm
Berat	200g