

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian mengenai penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam sistem *monitoring* telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Teknologi ini memungkinkan berbagai perangkat sensor terhubung melalui jaringan internet sehingga proses *monitoring* dapat dilakukan secara *real-time* dan dari jarak jauh. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2. 1 State of the Art Penelitian Terdahulu

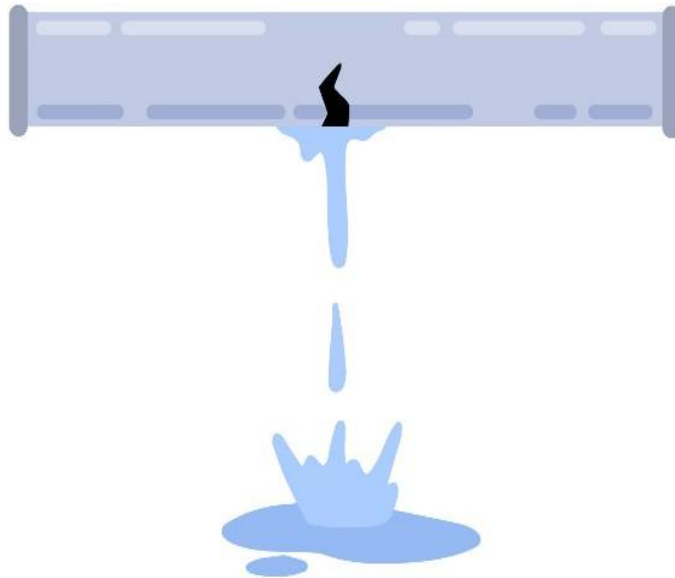
Peneliti	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
Anhar et al. (2025)	Deteksi kebocoran pipa menggunakan dua sensor <i>flowmeter</i> dan <i>ESP32</i> berbasis <i>IoT</i>	Sistem mampu mendeteksi kebocoran berdasarkan perbandingan debit masuk dan keluar pipa secara <i>real-time</i>	Menjadi dasar penggunaan metode perbandingan debit, namun belum mampu mengidentifikasi lokasi kebocoran pada beberapa segmen pipa
Andini et al. (2025)	<i>Monitoring</i> kebocoran pipa berbasis <i>IoT</i> dengan dukungan PLTS dan <i>solenoid valve</i>	Sistem mampu melakukan <i>monitoring</i> dan menutup aliran secara otomatis ketika terjadi kebocoran	Menjadi referensi penggunaan PLTS dan kontrol otomatis, namun belum menyediakan notifikasi <i>Telegram</i> secara <i>real-time</i>
Jefrina Dian Stifvani et al. (2025)	Sistem proteksi kebocoran menggunakan	Sistem mampu menghentikan aliran air ketika terjadi	Menjadi referensi mekanisme proteksi otomatis, namun

Peneliti	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
	sensor tekanan dan Arduino	penurunan tekanan	belum menerapkan konsep <i>IoT</i> dan <i>monitoring</i> jarak jauh
Azizah et al. (2025)	Deteksi kebocoran menggunakan <i>flowmeter</i> dan sensor ultrasonik berbasis <i>ESP32</i>	Sistem memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mendeteksi kebocoran	Menjadi referensi penerapan <i>ESP32</i> dan multi- sensor , namun masih berfokus pada <i>monitoring</i> berbasis web
Devi et al. (2024)	<i>Monitoring</i> dan kontrol otomatis berbasis <i>IoT</i> menggunakan <i>ESP32</i> dan <i>Blynk</i>	Sistem mampu melakukan <i>monitoring</i> dan kontrol secara otomatis dengan <i>error</i> rendah	Menjadi referensi implementasi <i>Blynk</i> , namun belum diterapkan pada sistem deteksi kebocoran pipa
Ulum & Haryudo (2020)	<i>Monitoring</i> motor DC berbasis <i>IoT</i> menggunakan <i>Blynk</i>	Sistem mampu melakukan <i>monitoring</i> parameter motor secara <i>real-time</i>	Menjadi referensi komunikasi data dan <i>monitoring IoT</i> , namun tidak membahas sistem distribusi air
Razzaqqi et al. (2025)	Deteksi kebocoran pipa berbasis <i>ESP32</i> dan GPS	Sistem mampu menentukan lokasi kebocoran secara <i>real-time</i>	Menjadi referensi penentuan lokasi kebocoran, namun belum memanfaatkan PLTS sebagai sumber daya

Peneliti	Fokus Penelitian	Hasil Penelitian	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
			dan proteksi pompa otomatis
Prasetya et al. (2020)	Deteksi lokasi kebocoran menggunakan beberapa sensor <i>flowmeter</i>	Sistem mampu menentukan tingkat dan lokasi kebocoran berdasarkan analisis debit	Menjadi referensi utama metode identifikasi lokasi kebocoran, namun belum dilengkapi notifikasi <i>real-time</i> dan proteksi otomatis
Nayoan & Arinal (2025)	<i>monitoring</i> berbasis <i>IoT</i> menggunakan <i>Telegram</i>	Sistem mampu mengirimkan notifikasi kondisi sistem secara <i>real-time</i>	Menjadi referensi penggunaan <i>Telegram</i> sebagai media notifikasi kepada pengguna

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kebocoran Pipa Air

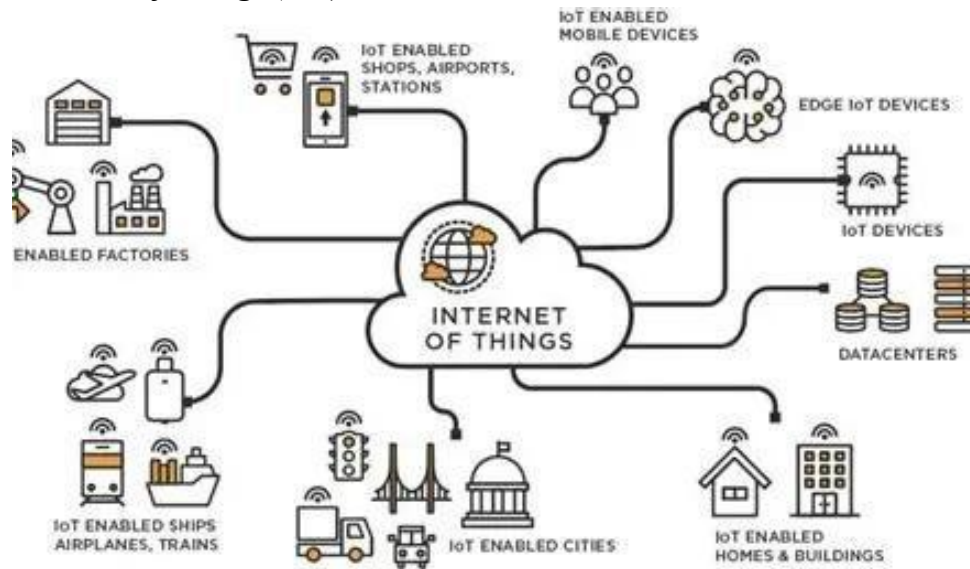


Gambar 2. 1 Kebocoran Pipa Air

Kebocoran pipa air merupakan kondisi terjadinya kehilangan fluida dalam sistem perpipaan yang disebabkan oleh kerusakan pipa atau tekanan yang tidak stabil. Kebocoran pipa air masih sering terjadi dan dapat mengakibatkan kerugian yang cukup besar bagi semua pihak yang terlibat, baik itu penyalur maupun konsumen. Secara teori, berdasarkan prinsip kekekalan massa, debit air yang masuk seharusnya sama dengan debit yang keluar jika tidak terjadi kebocoran. Oleh karena itu, perbedaan nilai debit dapat dijadikan indikator utama dalam mendeteksi adanya kebocoran pada sistem perpipaan. (Sundana et al., 2022)

Dalam penelitian ini, deteksi kebocoran dilakukan dengan memantau perubahan debit air menggunakan sensor *flowmeter* yang bekerja secara *real-time*. Data yang diperoleh akan diproses oleh mikrokontroler dan dibandingkan dengan nilai ambang batas tertentu untuk menentukan kondisi normal atau kebocoran. Apabila terjadi selisih debit yang signifikan, maka sistem akan mengidentifikasi adanya kebocoran dan mengirimkan notifikasi melalui *platform IoT*, sehingga pengguna dapat segera mengetahui kondisi sistem tanpa melakukan pengecekan secara langsung.

2.2.2 *Internet of Things (IoT)*

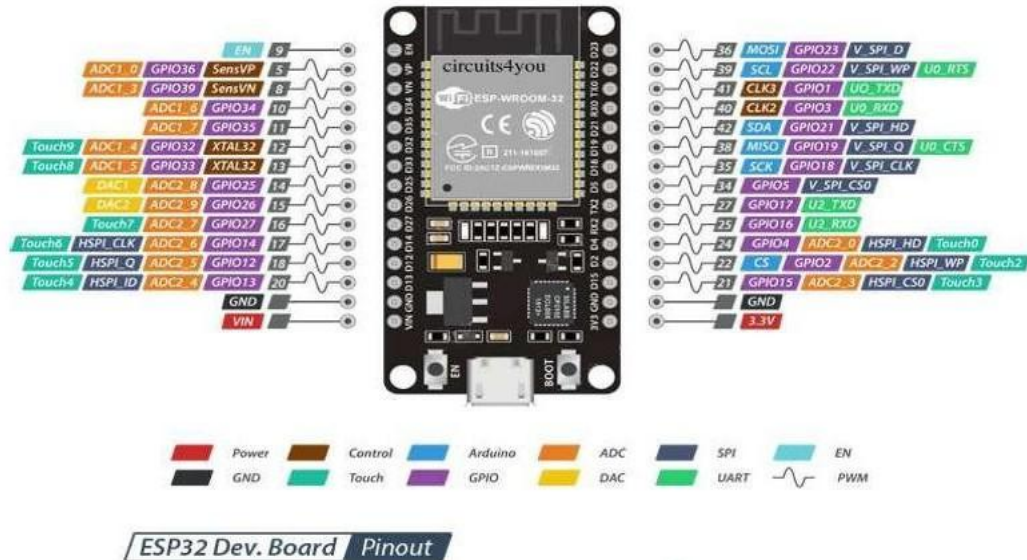


Gambar 2. 2 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan jaringan yang menghubungkan segala jenis jenis peralatan dengan internet. *Internet of Things (IoT)* ini mendeskripsikan dunia disekitar manusia dikelilingi oleh mesin yang dapat berkomunikasi satu dengan yang lain dan membantu manusia untuk berinteraksi dengan dunia digital. *Internet of Things (IoT)* merupakan kumpulan benda fisik (hardware) yang mampu bertukar informasi antara sumber informasi maupun perangkat lainnya yang terhubung ke dalam sebuah sistem sehingga dapat memberikan manfaat yang besar (Sari, 2021).

Internet of Things (IoT) merupakan konsep interkoneksi antar berbagai objek melalui jaringan internet, yang memungkinkan proses otomatisasi fungsi tanpa memerlukan interaksi langsung antar manusia dalam pengendalian maupun monitoring perangkat. Secara umum, *IoT* berperan dalam mengumpulkan data dari berbagai objek yang terhubung ke jaringan, kemudian mengolahnya menjadi informasi yang dapat ditransfer dan dimanfaatkan untuk memberikan perintah maupun kendali terhadap objek tersebut. Contoh penerapannya dapat dilihat pada peralatan elektronik yang terhubung ke internet beserta sensor - sensor pendukung lainnya. Selain itu, salah satu manfaat utama *IoT* adalah mempermudah konektivitas dalam pelaksanaan suatu pekerjaan, dimana pekerjaan yang sebelumnya harus dilakukan secara langsung di lokasi kini dapat dilakukan secara jarak jauh, sehingga proses menjadi lebih efisien

2.2.3 Mikrokontroler ESP32



konektor micro USB, sehingga memudahkan dalam proses pengoperasian dan pengujian sistem(Nizam et al., 2022).

2.2.4 Platform monitoring IoT

2.2.4.1 Platform Blynk



Gambar 2. 4 Aplikasi Blynk

Aplikasi *Blynk* adalah salah satu *platform* berbasis *Internet of Things (IoT)* yang digunakan untuk mendukung sistem *monitoring* dan pengendalian perangkat secara jarak jauh melalui perangkat mobile seperti *iOS* dan *Android*. *platform* ini berfungsi sebagai penghubung antara perangkat keras seperti *Arduino*, *Raspberry Pi*, maupun mikrokontroler lainnya dengan layanan *cloud* sehingga memungkinkan pertukaran data secara *real-time*. Selain itu, *Blynk* menyediakan *dashboard* digital yang interaktif dengan berbagai *widget* yang dapat diatur menggunakan Metode *drag and drop*, sehingga pengguna mudah dalam merancang antarmuka sistem tanpa memerlukan kemampuan pemrograman yang kompleks. Dengan fleksibilitas yang dimilikinya, *platform* ini tidak terikat pada jenis perangkat keras tertentu dan mampu mempercepat implementasi sistem *IoT* secara efisien, serta memungkinkan proses *monitoring* dan kontrol dilakukan secara *real-time* dari mana saja dan kapan saja (Darmana et al., 2024)

Pada penelitian ini, aplikasi *Blynk* dimanfaatkan sebagai media *monitoring* dan kontrol untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor seperti debit air dan parameter kelistrikan yang diperoleh dari sistem berbasis *ESP32*. Data yang diperoleh akan dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem serta mendeteksi adanya indikasi kebocoran atau anomali penggunaan air dengan

lebih cepat dan efisien. Aplikasi *Blynk* menyediakan berbagai fitur yang memudahkan pengguna dalam pengoperasiannya. Proses pembuatan proyek pada aplikasi ini tergolong cepat dan sederhana, bahkan dapat dilakukan dalam waktu yang hanya dengan metode drag and drop. Selain itu, aplikasi ini tidak bergantung pada jenis modul atau board tertentu. Selama perangkat terhubung dengan internet, pengguna dapat melakukan *monitoring* dan pengendalian sistem dari jarak jauh melalui aplikasi ini, sesuai dengan kebutuhan pengguna (Putri et al., 2023)

2.2.4.2 Platform bot Telegram



Gambar 2. 5 bot Telegram

Telegram merupakan salah satu fitur dari aplikasi *Telegram* yang memungkinkan pengguna untuk membuat sistem otomatis dalam mengirim dan menerima pesan melalui API yang disediakan. *Bot* ini dapat diprogram untuk menjalankan berbagai fungsi seperti pengiriman notifikasi, pengolahan data, hingga integrasi dengan perangkat *Internet of Things (IoT)*. Dalam implementasinya, *Telegram* bekerja dengan memanfaatkan HTTP request untuk berkomunikasi dengan server, sehingga memungkinkan pertukaran data secara cepat dan *real-time* antara perangkat dan pengguna (Aditya & Subektiningsih, 2024).

Pada penelitian ini, *Telegram* digunakan sebagai media notifikasi untuk memberikan informasi secara langsung kepada pengguna ketika sistem mendeteksi adanya kebocoran pipa air. Notifikasi yang dikirimkan berupa pesan otomatis yang berisi kondisi sistem, sehingga pengguna dapat segera mengetahui dan mengambil tindakan tanpa harus melakukan *monitoring* secara terus-menerus melalui aplikasi *monitoring*. Penggunaan *Telegram* ini meningkatkan responsivitas sistem serta

memberikan kemudahan dalam pengawasan jarak jauh.

2.2.5 Arduino IDE



Gambar 2. 6 Arduino IDE

Arduino Ide merupakan perangkat lunak digunakan ketika ingin melakukan mengedit, menngunggah program ke papan arduino. *Integrated Development Environment* merupakan program khusus pada komputer yang digunakan untuk membuat rancangan atau sketsa program yang akan dijalankan pada papan Arduino. *Arduino IDE* merupakan software yang canggih dan dikembangkan menggunakan bahasa Java. IDE Arduino terdiri dari:

1. *Editor Program* Sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa pemrosesan yang akan dijalankan pada *mikrokontroller* seperti ESP32.
2. *Compiler* Berfungsi untuk kompilasi sketch tanpa unggah ke board bisa dipakai untuk pengecekan kesalahan kode sintaks sketch. Sebuah modul yang mengubah kode program menjadi kode biner karena berfungsi menerjemahkan kode program menjadi kode biner yang dapat dipahami oleh mikrokontroler.
3. *Uploader* difungsikan untuk mengunggah hasil kompilasi sketch ke board target. Pesan *error* akan menampilkan pesan kesalahan (*error*) jika ada board belum terpasang atau alamat port COM belum terkonfigurasi dengan benar (Husada et al., 2019).

2.2.6 Sensor *Flowmeter*



Gambar 2. 7 Sensor *flowmeter* YF-S201

Sensor secara umum didefinisikan sebagai suatu jenis transduser yang berfungsi untuk mengubah berbagai besaran fisik, seperti besaran mekanik, panas, kimia, cahaya, dan magnetik menjadi sinyal listrik berupa arus atau tegangan. Salah satu jenis sensor yang banyak digunakan dalam sistem *monitoring* adalah sensor *flowmeter*, yang berfungsi untuk mengukur debit aliran fluida, khususnya air, yang mengalir di dalam pipa.

sensor *flowmeter* umumnya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu badan katup (*valve body*), rotor, dan sensor Hall Effect. Ketika air mengalir melalui sensor, rotor akan berputar sesuai dengan kecepatan aliran air yang melewatinya. Putaran rotor tersebut kemudian dideteksi oleh sensor Hall Effect dan diubah menjadi sinyal listrik berupa pulsa, dimana jumlah pulsa yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya debit aliran air. Dengan demikian, sensor ini dapat digunakan untuk memantau laju aliran air secara real-time dalam suatu sistem *monitoring* berbasis *IoT*. sensor water *Flow* dapat bekerja untuk mengukur kesesuaian antara volume air yang ada dengan volume air yang tercatat oleh sensor (Muamaroh & Christanto, 2024).

2.2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2. 8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, khususnya pada sektor perkantoran. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak diterapkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan memanfaatkan modul surya fotovoltaik yang dipasang pada atap bangunan (*rooftop*). Penggunaan PLTS rooftop dinilai efektif karena sebagian besar aktivitas perkantoran berlangsung pada siang hari, sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, dari sisi ekonomi, penggunaan energi surya cenderung lebih hemat dibandingkan dengan sumber energi berbasis bahan bakar seperti diesel atau bahan bakar minyak (BBM).

Di samping itu, sistem PLTS memiliki keunggulan dalam hal perawatan dan operasional yang relatif mudah, serta memberikan dampak positif terhadap lingkungan karena mampu mengurangi emisi polusi dan efek rumah kaca. Disisi lain, peningkatan kebutuhan energi listrik di wilayah perkotaan yang terus berkembang belum sepenuhnya diimbangi dengan ketersediaan sumber energi yang handal dan terjangkau. Salah satu sektor yang memiliki konsumsi energi listrik cukup tinggi adalah gedung perkantoran, dimana besarnya penggunaan energi berbanding lurus dengan biaya operasional yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan guna menekan biaya penggunaan listrik serta mendukung pemanfaatan energi ramah lingkungan (Samsurizal et al., 2022)

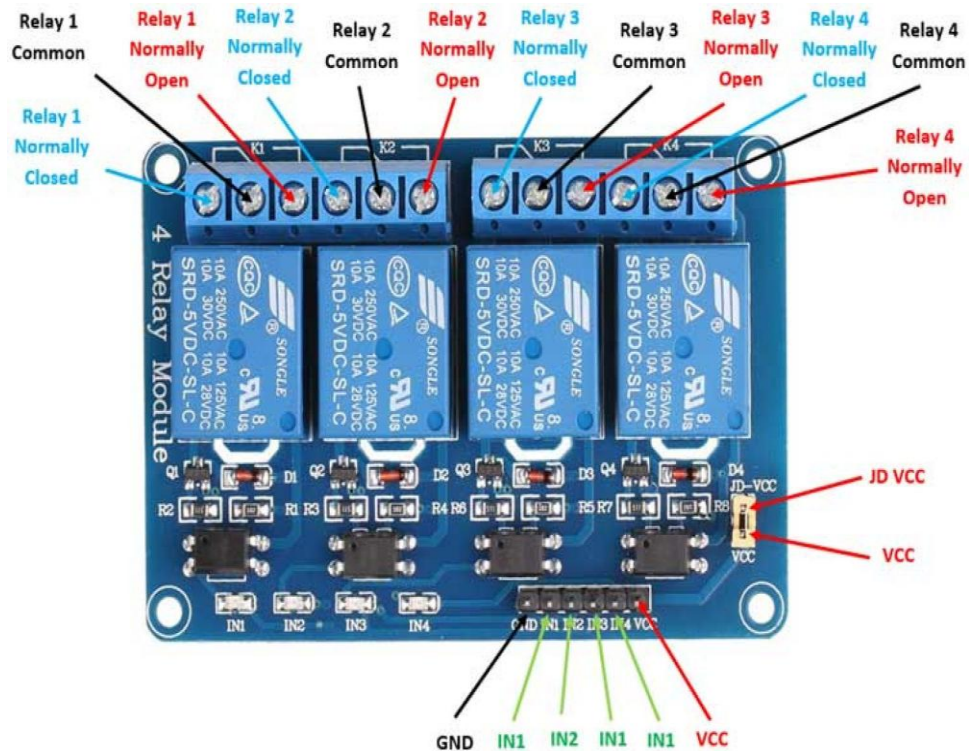
2.2.8 Pompa Air DC12V



Gambar 2. 9 Pompa Air 12 V DC

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan fluida dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi dan/ atau posisi yang lebih rendah ke posisi yang lebih tinggi. Proses pemindahan ini terjadi karena adanya gaya tekan yang mampu mengatasi hambatan aliran seperti gesekan di dalam pipa, perbedaan ketinggian, serta tekanan yang harus dilawan oleh fluida. Secara umum, pompa digerakkan oleh sumber energi seperti motor listrik atau mesin untuk menghasilkan aliran fluida yang kontinu.(Hatopan & Ayu, 2019). Pada penelitian ini digunakan pompa air DC 12V yang berfungsi untuk mensirkulasikan air dalam sistem perpipaan sehingga aliran dapat terbentuk dan diukur oleh sensor *flowmeter*. Penggunaan pompa ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi aliran air nyata pada pipa, sehingga proses *monitoring* dan deteksi kebocoran dapat dilakukan secara optimal.

2.2.9 Modul Relay 4 Channel 5 V

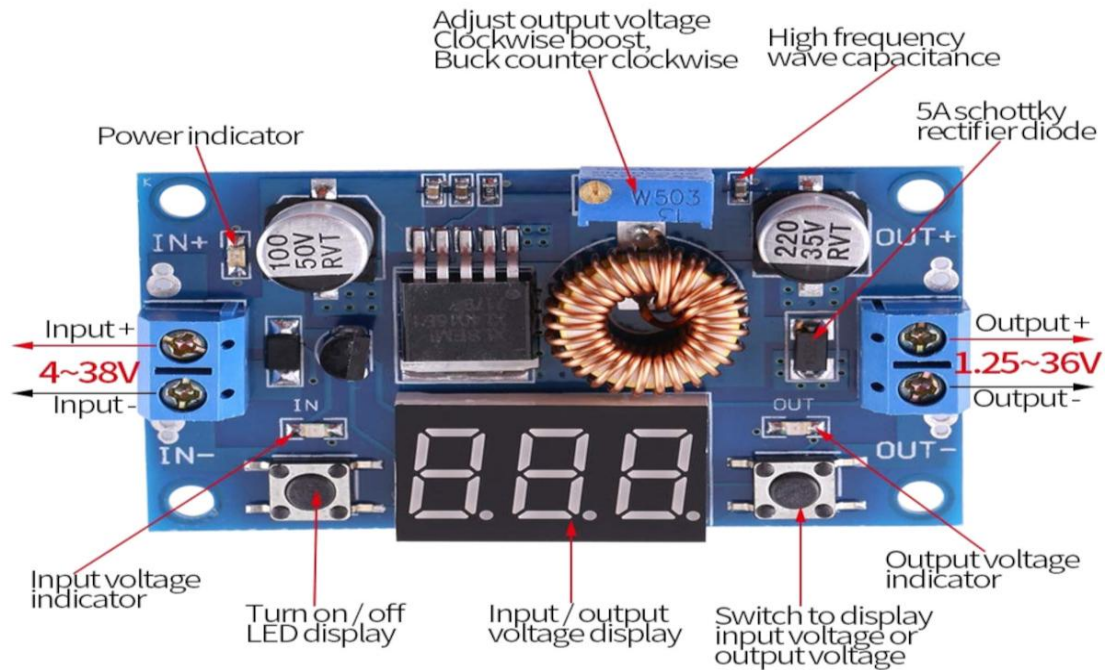


Gambar 2. 10 Modul Relay 1 Channel 5 V

Relay 4 *channel* merupakan modul saklar elektromagnetik yang terdiri dari empat relay dalam satu papan rangkaian dan Relay ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler untuk mengendalikan beban listrik dengan daya yang besar. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, yaitu arus yang mengalir pada kumparan (coil) akan menghasilkan medan magnet yang menggerakkan kontak saklar sehingga rangkaian dapat terhubung atau terputus secara otomatis. Modul ini banyak digunakan pada sistem otomasi dan *Internet of Things (IoT)* karena mampu mengendalikan beban listrik yang membutuhkan tegangan atau arus lebih besar. (Samsudin et al., 2025)

Pada penelitian ini, relay 4 *channel* digunakan sebagai aktuator yang menghubungkan *ESP32* dengan empat *Solenoid valve* pada sistem distribusi air. Setiap *channel* relay berfungsi untuk mengontrol satu *Solenoid valve* secara terpisah sesuai perintah yang diberikan oleh *ESP32*. Dengan adanya *relay*, *mikrokontroler* dapat mengendalikan proses buka dan tutup *valve* secara aman tanpa terhubung langsung ke beban, sehingga mendukung pengoperasian sistem *monitoring* kebocoran pipa air berbasis *IoT* secara otomatis dan *real-time*.

2.2.10 Buck converter XL4015



Gambar 2. 11 *Buck converter XL4015*

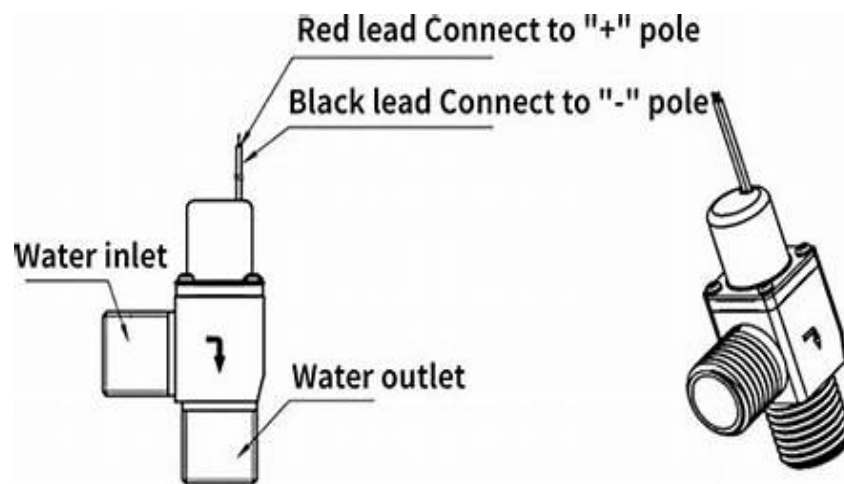
Buck converter merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari level yang lebih tinggi menjadi tegangan DC yang lebih rendah sesuai kebutuhan beban. *Buck converter* digunakan untuk menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dan efisien sehingga mampu mendukung kinerja perangkat elektronik pada sistem secara optimal. (Endang & Rahmat Hidayat, 2024) Dalam penerapannya, *Buck converter* berperan penting dalam menyuplai daya ke berbagai perangkat elektronika seperti mikrokontroler, sensor, modul komunikasi, dan perangkat kendali lainnya yang umumnya memerlukan tegangan kerja yang lebih rendah.

Pada penelitian ini, *Buck converter* berguna untuk menyesuaikan tegangan keluaran dari sumber daya untuk sesuai dengan kebutuhan komponen sistem *monitoring* kebocoran pipa air berbasis *Internet of Things (IoT)*. Penggunaan *Buck converter* memungkinkan *ESP32*, sensor *flowmeter*, dan perangkat pendukung lainnya memperoleh suplai tegangan yang stabil sehingga dapat bekerja secara optimal. Selain itu, efisiensi konversi daya yang tinggi pada *Buck converter* juga membantu mengurangi

rugi-rugi energi dan meningkatkan keandalan sistem selama proses *monitoring* berlangsung.

Kemampuan *Buck converter* dalam menghasilkan tegangan keluaran yang stabil sangat penting untuk menjaga tingkat keberhasilan pembacaan sensor dan kestabilan komunikasi data pada sistem *IoT*. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan gangguan pada proses akuisisi data, kesalahan pembacaan sensor, maupun kegagalan pengiriman data ke *platform monitoring*. Oleh karena itu, penggunaan *Buck converter* menjadi salah satu komponen pendukung yang berperan dalam menjaga kinerja dan keandalan keseluruhan sistem yang dikembangkan.

2.2.11 Solenoid valve



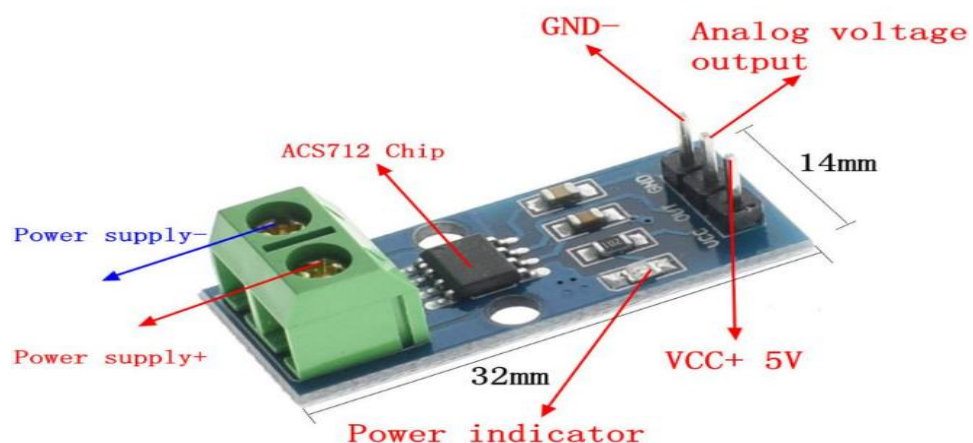
Gambar 2. 12 Solenoid valve

Solenoid valve merupakan katup yang bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik, dimana proses pembukaan dan penutupan katup dikendalikan oleh arus listrik yang dialirkan ke kumparan (*solenoid*). Ketika kumparan diberi tegangan, medan magnet yang dihasilkan akan menggerakkan mekanisme katup sehingga aliran fluida dapat diatur secara otomatis. *Solenoid valve* banyak digunakan pada sistem kontrol fluida karena memiliki respon yang cepat, konstruksi yang sederhana, serta mudah diintegrasikan dengan sistem berbasis mikrokontroler.

Jadi kegunaan dari *Solenoid valve* sendiri pada penelitian ini dipergunakan sebagai objek untuk mensimulasikan kebocoran yang dipasang pada masing masing Segmen percabangan pipa, Ketika *valve* aktif menyebabkan terjadinya pengurangan aliran air yang mengalir pada Segmen pipa yang dibuka *solenoid valvenya* akan dideteksi oleh sensor

flowmeter. Data perubahan debit yang terbaca oleh sensor *flowmeter* tersebut selanjutnya digunakan sebagai *parameter* untuk mengetahui kondisi aliran air pada setiap segmen pipa. Apabila terjadi perbedaan debit yang menunjukkan adanya indikasi kebocoran, maka informasi tersebut akan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada sistem *monitoring* sehingga kondisi jaringan pipa dapat dipantau secara *real-time* (TowerPro, 2018).

2.2.12 Sensor Arus ACS712



Gambar 2. 13 *Current Sensor ACS712*

Current sensor merupakan modul yang berfungsi untuk mendeteksi aliran arus listrik yang melewatinya. sensor *Hall Effect Allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi dan digunakan sebagai sensor arus, baik AC maupun DC. dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *Hall Effect*, yaitu mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh aliran arus listrik tanpa perlu kontak langsung dengan konduktor yang diukur. *ACS712* banyak digunakan pada berbagai aplikasi elektronika, industri, otomasi, dan sistem monitoring karena memiliki tingkat keberhasilan deteksi yang baik serta mampu memberikan hasil pengukuran secara *real-time*.

Pada penelitian ini, sensor arus *ACS712* digunakan untuk memantau konsumsi arus pada sistem sebagai *parameter* pendukung dalam proses *monitoring*. Nilai arus yang terukur diubah menjadi sinyal tegangan analog yang memiliki hubungan linier terhadap

besarnya arus yang mengalir, kemudian diproses oleh *ESP32* untuk ditampilkan pada *platform monitoring*. Dengan adanya sensor arus, kondisi kerja perangkat dapat dipantau secara langsung sehingga membantu pengguna dalam mengetahui status operasional sistem selama proses *monitoring* kebocoran pipa air berbasis *Internet of Things (IoT)* berlangsung (Albustomi et al., 2023).

Persamaan yang digunakan untuk mengukur Selisih dan *error* perbandingan sensor dengan referensi *multimeter* yaitu menggunakan :

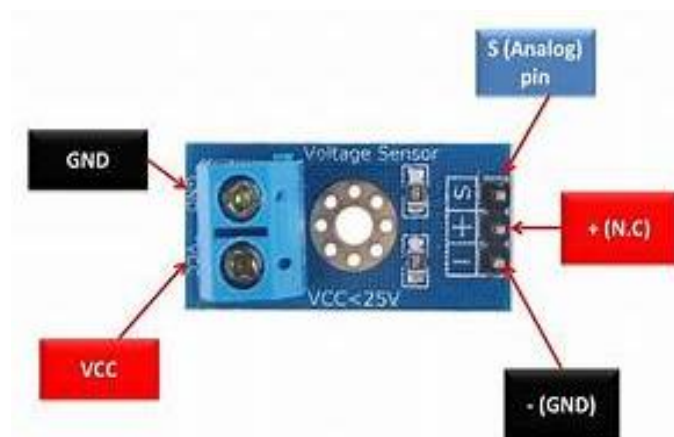
$$\Delta I = | I_{sensor} - I_{referensi} | \quad (3.1)$$

$$Error_I = \frac{\Delta I}{I_{referensi}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

- ΔI = Selisih Arus
- I_{sensor} = Arus yang dibaca sensor (A)
- $I_{referensi}$ = Arus hasil pengukuran *multimeter* (A)

2.2.13 Sensor Tegangan



Gambar 2. 14 Voltage Sensor

Sensor tegangan adalah komponen yang digunakan untuk mengukur besarnya tegangan listrik pada suatu rangkaian. Sensor ini bekerja dengan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*) sehingga tegangan yang akan diukur dapat disesuaikan dengan batas tegangan masukan yang dapat dibaca oleh *mikrokontroler*. Nilai tegangan yang terukur kemudian dikonversi menjadi sinyal analog dan dibaca melalui pin analog pada *ESP32* untuk selanjutnya diolah menjadi informasi yang dapat ditampilkan pada sistem

monitoring.

Penggunaan sensor tegangan pada sistem ini bertujuan untuk memantau kestabilan sumber daya yang digunakan selama proses *monitoring* berlangsung. Data tegangan yang diperoleh menjadi informasi pendukung dalam mengevaluasi kondisi operasional perangkat, khususnya *ESP32* dan modul komunikasi yang membutuhkan suplai tegangan yang stabil. Hasil pengukuran selanjutnya ditampilkan pada *platform monitoring* sehingga kondisi sistem dapat diamati secara *real-time* bersamaan seperti data debit air yang diukur oleh sensor *flowmeter*.(Albustomi et al., 2023).

Persamaan yang digunakan untuk mengukur Selisih dan *error* perbandingan sensor dengan referensi *multimeter* yaitu menggunakan :

$$\Delta V = | V_{sensor} - V_{referensi} | \quad (3.3)$$

$$Error_V = \frac{\Delta V}{V_{referensi}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

- ΔV = Selisih Tegangan
- V_{sensor} = Tegangan yang dibaca sensor (V)
- $V_{referensi}$ = Tegangan hasil pengukuran *multimeter* (V)

2.2.14 Solar Charge Controller



Gambar 2. 15 Solar Charge Controller MPPT

Solar Charge Controller atau adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur aliran energi listrik dari panel surya menuju ke baterai untuk proses pengisian berlangsung secara aman dan efisien. *SCC* berperan dalam mencegah terjadinya *overcharging* (pengisian berlebih) dan *over-discharging* (pengosongan berlebih) yang dapat menurunkan performa serta umur pakai baterai. Selain itu, *SCC* juga membantu menjaga kestabilan tegangan dan arus yang disalurkan ke sistem, sehingga sumber daya yang digunakan dapat bekerja secara lebih andal dan berkelanjutan.

Pada penelitian ini, *SCC* digunakan untuk mengelola energi yang dihasilkan panel surya sebelum disimpan ke dalam baterai sebagai sumber daya utama sistem *monitoring* kebocoran pipa air berbasis *Internet of Things (IoT)*. Energi yang tersimpan kemudian digunakan untuk menyuplai *ESP32*, sensor *flowmeter*, serta perangkat pendukung lainnya. Dengan adanya *SCC*, sistem dapat beroperasi secara stabil meskipun terjadi perubahan intensitas cahaya matahari. Berdasarkan metode pengendaliannya, *SCC* umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu *Pulse Width Modulation (PWM)* dan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*, dimana metode MPPT memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengoptimalkan daya keluaran panel surya sehingga energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih efisien (Wahyu Firmansyah et al., 2025).

2.2.15 Mini Circuit Breaker



Gambar 2. 16 Mini Circuit Breaker

Circuit Breaker (CB) merupakan perangkat proteksi yang berfungsi untuk memutus aliran listrik secara otomatis ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan. Gangguan tersebut dapat berupa hubungan singkat (*short circuit*), beban berlebih (*overload*), maupun gangguan ke tanah (*ground fault*) yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Dengan kemampuan memutus rangkaian secara otomatis, *Circuit Breaker* berperan penting dalam menjaga keamanan sistem serta melindungi komponen yang terhubung dari risiko kerusakan akibat arus yang melebihi batas yang diizinkan. MCB ini dapat digunakan sebagai pemutus arus searah dengan beban, baik secara manual maupun otomatis.(Hamid et al., 2022).

Pada penelitian ini, *Circuit Breaker* digunakan sebagai perangkat pengaman pada sistem catu daya yang menyuplai seluruh komponen *monitoring* kebocoran pipa air berbasis *Internet of Things (IoT)*. Penggunaan *Circuit Breaker* bertujuan untuk memberikan perlindungan terhadap kemungkinan terjadinya gangguan kelistrikan yang dapat memengaruhi kinerja *ESP32*, sensor, maupun perangkat pendukung lainnya.

Selain berfungsi sebagai pengaman, *Circuit Breaker* juga memudahkan proses pengendalian dan pemeliharaan sistem karena aliran listrik dapat diputus dan dihubungkan kembali dengan aman saat diperlukan. Oleh karena itu, penggunaan *Circuit Breaker* menjadi salah satu komponen pendukung yang penting dalam menjaga kontinuitas operasi dan keselamatan sistem *monitoring* yang dikembangkan.

2.2.16 Prinsip Deteksi Kebocoran

Metode deteksi kebocoran pada penelitian ini didasarkan pada prinsip kekekalan massa dan persamaan kontinuitas fluida. Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa fluida yang masuk ke dalam suatu sistem harus sama dengan massa fluida yang keluar apabila tidak terdapat kebocoran atau akumulasi massa di dalam sistem.

Pada aliran fluida tak termampatkan seperti air, prinsip tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$Q_{masuk} = Q_{keluar}$$

Penentuan Kondisi Kebocoran

Penentuan kondisi kebocoran pada sistem ini dilakukan secara bertahap dengan membandingkan nilai debit antar sensor *flowmeter*, mengikuti prinsip kekekalan massa dimana debit yang masuk pada suatu titik seharusnya sama dengan debit yang keluar apabila tidak terjadi kehilangan aliran.

1. Identifikasi Kondisi pada Segmen A

Kondisi jalur utama sebelum percabangan ditentukan dari selisih debit antara *flowmeter* 1 (F1) dan *flowmeter* 2 (F2). Apabila selisih keduanya $\leq 2,5$ L/min, jalur dinyatakan normal karena aliran air yang masuk masih sebanding dengan yang diteruskan. Sebaliknya, dialirkan. dan jika selisih $> 2,5$ L/min mengindikasikan adanya kehilangan aliran, sehingga sistem mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai kebocoran pada Segmen A. dan untuk menghitung selisih dapat digunakan rumus di bawah:

$$\Delta Q = |Q_1 - Q_2| \quad (3.5)$$

2. Identifikasi Kondisi pada Jalur Percabangan Segmen B dan C

Setelah melewati F2, aliran air terbagi ke dua cabang yang dipantau oleh *flowmeter* 3 (F3) dan *flowmeter* 4 (F4). Kondisi percabangan ditentukan dengan membandingkan debit F2 terhadap total debit (F3 + F4). Selisih $\leq 2,0$ L/min menunjukkan distribusi aliran berjalan normal, sedangkan selisih $> 2,0$ L/min mengindikasikan adanya kebocoran pada salah satu cabang pipa. dan untuk menghitung selisih dapat digunakan rumus di bawah:

$$\Delta Q_{cabang} = |Q_2 - (Q_3 + Q_4)| \quad (3.6)$$

3. Penentuan Lokasi Kebocoran pada Percabangan

Ketika kebocoran terjadi pada Segmen percabangan terdeteksi, Sistem membandingkan nilai debit dari F3 dan F4, Jika $F3 < F4$ Maka kebocoran terdeteksi pada Segmen B dan Jika $F3 > F4$ Maka Kebocoran terdeteksi Pada Segmen C.

Nilai *threshold* sebesar 2,5 L/min pada jalur utama dan 2,0 L/min pada jalur percabangan ditentukan berdasarkan hasil pengujian empiris yang dilakukan pada kondisi normal dan kondisi kebocoran. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa selisih debit pada kondisi normal masih berada di bawah nilai *threshold* yang ditetapkan, sedangkan pada kondisi kebocoran selisih debit meningkat dan melebihi nilai tersebut. Oleh karena itu, nilai *threshold* digunakan sebagai batas keputusan untuk membedakan kondisi normal dan kondisi kebocoran. Selain itu, penentuan *threshold* juga bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *false alarm*, yaitu kondisi ketika sistem mendeteksi kebocoran akibat fluktuasi pembacaan sensor meskipun sebenarnya tidak terjadi kebocoran pada jaringan pipa.

Dalam proses deteksi kebocoran, terdapat ketidakpastian pengukuran yang berasal dari sensor *flowmeter*. Perbedaan pembacaan dapat terjadi akibat karakteristik sensor, kondisi aliran air, turbulensi, posisi pemasangan sensor, maupun fluktuasi debit selama pengujian berlangsung. Oleh karena itu, sistem tidak menggunakan selisih debit yang sangat kecil sebagai indikator kebocoran. Untuk mengurangi pengaruh variasi pembacaan sensor dan mencegah terjadinya alarm palsu (*false positive*), digunakan nilai *threshold* sebesar 2,5 L/min pada Segmen A dan 2,0 L/min pada jalur percabangan dalam proses pengambilan keputusan. Dengan adanya *threshold*, perbedaan pembacaan yang masih berada dalam kondisi normal tidak langsung diidentifikasi sebagai kebocoran sehingga kemungkinan terjadinya *false positive* dapat diminimalkan. Pendekatan ini membuat sistem lebih stabil dalam membedakan kondisi normal dan kondisi kebocoran.

2.2.17 Metode Pengujian dan Analisis Kinerja Sistem

1. Pengukuran Waktu respon sistem dan proteksi

Waktu respon sistem dan proteksi digunakan untuk mengetahui kecepatan sistem dalam mendeteksi kebocoran dan mengirimkan notifikasi kepada pengguna. Pengukuran dilakukan menggunakan stopwatch yang dimulai saat kebocoran disimulasikan hingga notifikasi diterima pada aplikasi *Telegram*. Nilai rata-rata waktu respon dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$\bar{t}$ = rata-rata waktu respon (detik)

t_i = data waktu respon ke-i (detik)

n = jumlah pengujian

2. Perhitungan Tingkat Keberhasilan Sistem

Tingkat keberhasilan sistem digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi kebocoran sesuai kondisi yang diuji. Persentase keberhasilan dihitung berdasarkan jumlah deteksi yang berhasil dibandingkan dengan jumlah seluruh pengujian yang dilakukan.

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ deteksi\ benar}{Total\ Pengujian} \times 100\% \quad (3.8)$$

Berdasarkan *parameter* waktu respon sistem dan proteksi dan tingkat keberhasilan sistem, dapat dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem *monitoring* dan deteksi kebocoran pipa air yang dikembangkan. Waktu respon digunakan untuk mengetahui kecepatan sistem dalam mendeteksi kebocoran dan menyampaikan informasi kepada pengguna, sedangkan tingkat keberhasilan sistem digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengidentifikasi kondisi kebocoran sesuai dengan skenario pengujian yang telah ditentukan. Hasil perhitungan kedua *parameter* tersebut akan dibahas lebih lanjut pada Bab 4 sebagai dasar analisis performa sistem yang telah dirancang.