

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem *Fire Alarm Control Panel*

Sistem proteksi kebakaran merupakan bagian penting dari manajemen keselamatan pada suatu bangunan. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi tanda-tanda awal kebakaran dan memberikan peringatan secara otomatis agar penghuni dapat segera melakukan evakuasi atau tindakan pengamanan lainnya [6]. Pada dasarnya, sistem proteksi kebakaran terdiri dari beberapa komponen utama seperti detektor asap dan perangkat *Alarm*. Semua komponen ini saling terhubung dan dikendalikan melalui satu unit pusat kendali yang disebut dengan FACP [7].

FACP berperan sebagai pusat penerima sinyal dari seluruh detektor yang terpasang. Ketika ada detektor yang aktif, FACP akan langsung memproses sinyal tersebut dan mengaktifkan peringatan seperti *annunciator* dan *buzzer* yang terhubung [8]. Selain itu, FACP juga dapat menampilkan informasi lokasi sumber *Alarm* melalui layar atau indikator yang tersedia pada panel. Tampilan pada FACP umumnya dilengkapi dengan layar LCD, LED status, serta tombol-tombol pengaturan untuk *reset*, *test*, dan *test Alarm*. Ini bertujuan agar teknisi atau operator dapat dengan mudah melakukan pemantauan maupun pengecekan sistem *Alarm* kapan saja [9].

Pada proyek pembangunan gedung tinggi, proses instalasi panel *Alarm* melibatkan pengkabelan dari seluruh perangkat deteksi menuju ke FACP, yang ditempatkan di ruang khusus bersama *power supply* dan sistem *monitoring* lainnya [8]. Dalam implementasinya, FACP tidak hanya berfungsi sebagai penerima sinyal dari detektor, namun juga berperan sebagai pengendali utama dalam sistem *Alarm*. Berdasarkan hasil studi pada sistem *fire Alarm* di kapal MV Rajakarta, panel kontrol *Alarm* berfungsi untuk menunjukkan zona aktif ketika terjadi deteksi kebakaran, serta mengendalikan *Alarm* suara dan indikator visual sesuai dengan lokasi deteksi. Panel tersebut juga memuat indikator untuk mendeteksi kesalahan

sistem (*fault*) serta tombol *reset* dan *test* sebagai bagian dari fitur pengendalian manual yang wajib tersedia [9].

Pada penelitian yang dilakukan untuk perancangan sistem *Alarm* kebakaran di Bandara Udara Merdey Papua Barat, FACP diposisikan sebagai pusat sistem yang menerima *input* dari detektor dan mengaktifkan aktuator seperti *Alarm* suara serta notifikasi ke ruang keamanan. Proyek tersebut juga menjelaskan bahwa panel kontrol mendukung pengelompokan zona, sehingga memudahkan dalam identifikasi titik deteksi berdasarkan area [7].

Sistem FACP modern biasanya menggunakan sistem *addressable*, di mana setiap detektor atau *input device* memiliki alamat tersendiri. Hal ini memungkinkan FACP untuk menampilkan secara akurat lokasi detektor yang mengirimkan sinyal, sehingga proses identifikasi dan penanganan kebakaran dapat dilakukan lebih cepat dan tepat [8].

Tabel 2.1 membandingkan berbagai jenis FACP dari berbagai merek dan kategori, mulai dari produk konvensional hingga *addressable*. Produk konvensional seperti China product dan LPCB/EN54 dari UK memiliki jumlah *input* terbatas dengan konfigurasi statis. Sementara itu, FACP ini memiliki fleksibilitas tinggi hingga 16 zona *input* dan *output* yang bisa dikonfigurasi per dua zona, termasuk LED notifikasi *Alarm*. Sistem *addressable* dari Notifier Honeywell memiliki skalabilitas tinggi hingga 1000 I/O dengan slot modular tambahan. Fitur tombol kontrol dasar seperti *mute*, *test*, *test*, dan *reset* tersedia di semua panel, dengan beberapa variasi tambahan seperti *switch* dan *evacuate* tergantung modelnya.

Tabel 2.1 Perbandingan FACP dengan Panel *Fire Alarm* Lain

Panel	Jumlah <i>Input</i>	Jumlah <i>Output</i>	Fitur Kontrol
Konvensional (China)	1 1-4, 1-8, 1-16 zone	1 DC24V, 1-4 <i>Alarm</i> , 3 relay (<i>Alarm</i> , <i>fault</i> , spv)	Mute, <i>Test</i> , <i>Test</i> , <i>Reset</i>
Konvensional (UK)	2 2 zone (modular up to 32)	1 DC24V + 5VDC, 2 <i>Alarm</i> , 3 relay (<i>Alarm</i> , <i>fault</i> , spv)	<i>Reset</i> , <i>Test</i> , <i>Evacuate</i>

Tabel Lanjutan 2.1 Perbandingan FACP dengan Panel Fire Alarm Lain

Panel	Jumlah <i>Input</i>	Jumlah <i>Output</i>	Fitur Kontrol
FACP	1-16 zone	16 DC24V, 16 bisa dikonfigurasi tiap 2 segmen, 2 relay (<i>Alarm, fault</i>)	Mute, <i>Test</i> , <i>Reset</i> , <i>Switch</i>
<i>Addressable</i> (Honeywell)	Hingga 1000 I/O (modular)	Sesuai konfigurasi modul tambahan	Mute, <i>Test</i> , <i>Reset</i>

Seluruh proses perancangan dan pembangunan sistem FACP disusun berdasarkan acuan standar serta regulasi yang berlaku, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Rujukan utama dalam pengembangan sistem ini mengacu pada beberapa peraturan nasional, antara lain: SKPT Menteri Pekerjaan Umum No. 10/SKPT/2005 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung, serta Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti SNI 03-1735-2000 mengenai tata cara perencanaan akses bangunan dan lingkungan untuk pencegahan bahaya kebakaran, SNI 03-1736-2000 tentang sistem proteksi pasif, SNI 03-3985-2000 terkait pemasangan dan pengujian sistem proteksi pasif, SNI 03-3989-2000 mengenai sistem sprinkler otomatis, serta PUIL 2000 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) sebagai dasar instalasi kelistrikan.

Selain mengacu pada standar nasional, pengembangan sistem ini juga mengikuti berbagai standar internasional guna meningkatkan kinerja dan keandalannya. Standar internasional yang digunakan merujuk pada pedoman EN 54, yaitu standar Eropa yang mencakup berbagai aspek sistem proteksi kebakaran. Beberapa di antaranya adalah EN 54-2 untuk kontrol indikasi, EN 54-3 untuk *Alarm* suara, dan EN 54-4 untuk catu daya. Selain itu, EN 54-5 digunakan untuk *heat detector*, EN 54-7 untuk *smoke detector*, EN 54-10 untuk *flame detectors*, serta EN 54-11 untuk *manual call point*.

Penilaian kompatibilitas antar komponen sistem mengacu pada EN 54-13, sedangkan sistem *Alarm* suara dan indikator diatur oleh EN 54-16.

2.2. *Photoelectric smoke detector*

Photoelectric smoke detector merupakan perangkat pendeteksi asap yang bekerja berdasarkan prinsip pengaburan cahaya untuk mendeteksi keberadaan partikel asap di udara. Teknologi ini memanfaatkan *photoelectric effect*, yaitu fenomena fisika di mana cahaya yang mengenai suatu permukaan material dapat menyebabkan pelepasan elektron. Secara konstruksi, detektor ini terdiri atas sumber cahaya dan sensor cahaya yang ditempatkan dengan sudut tertentu di dalam suatu *detection chamber*. Dalam keadaan normal, ketika tidak terdapat asap, cahaya dari sumber tidak mengenai sensor secara langsung. Namun, apabila terdapat asap yang masuk ke dalam ruang deteksi, partikel asap akan menyebarkan cahaya ke berbagai arah. Sebagian dari cahaya tersebut kemudian akan diarahkan menuju sensor. Ketika sensor menerima cahaya hasil penyebaran tersebut, sistem akan mengidentifikasi keberadaan asap dan segera mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan *Alarm* sebagai peringatan awal akan potensi kebakaran. Mekanisme ini memungkinkan deteksi dini terhadap kebakaran, khususnya kebakaran yang terjadi secara perlahan atau dikenal dengan istilah *smouldering fires*, yang ditandai dengan pembakaran tidak sempurna dan produksi partikel asap berukuran besar [10].

Untuk memastikan hasil pengukuran yang lebih akurat dan mengurangi noise pada sinyal sensor, digunakan metode Kalman Filter sebagai teknik pemrosesan sinyal (metode ini dilakukan diluar penelitian). Kalman Filter membantu menyaring data dengan cara memperkirakan nilai sebenarnya berdasarkan pengukuran sebelumnya, sehingga dapat mengurangi kesalahan akibat fluktuasi sinyal.



Gambar 2.1 *Smoke detector*

Smoke detector yang digunakan dalam penelitian ini memiliki sumber daya 24V DC seperti pada Tabel 2.2. Penggunaan tegangan ini juga mendukung integrasi dengan perangkat lain dalam sistem seperti *annunciator*. Perangkat ini ditunjukkan pada Gambar 2.1, yang memperlihatkan bentuk fisik dari sensor yang digunakan. *Smoke detector* ini memiliki cakupan deteksi hingga 80 meter persegi. Efektivitas cakupan deteksi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti sirkulasi udara, ventilasi ruangan, serta potensi penghalang fisik yang dapat menghambat penyebaran asap ke sensor. Dalam hal ketahanan lingkungan, perangkat ini dapat beroperasi pada suhu -10 hingga 55 derajat Celsius.

Tabel 2.2 Spesifikasi *Smoke detector* [11]

Subjek	Spesifikasi
<i>Power Input</i>	24 VDC
<i>Max Detecting Area</i>	80 Sqm
<i>Alarm Current</i>	70 mA
<i>Standby Current</i>	< 100 μ A
<i>Temperature</i>	-10 ~ 55°C
<i>Size</i>	104 (D) x 51 (L) mm

Dalam sistem deteksi kebakaran, konfigurasi pemasangan kabel sensor seperti *smoke detector* memegang peran penting, dua konfigurasi kabel yang umum digunakan adalah *single wire* dan *cross wire*. Pemilihan jenis konfigurasi ini biasanya disesuaikan dengan kebutuhan topologi area. *Single wire detection* adalah metode deteksi yang menggunakan satu jalur

kabel utama. Pada sistem konvensional, setiap *smoke detector* dihubungkan ke panel kontrol menggunakan kabel tersendiri yang disusun menyebar seperti cabang. Dalam satu area pemantauan, beberapa detektor dipasang bersama dan disambungkan dalam satu jalur kabel. Sistem ini biasanya menggunakan resistor di ujung kabel (*end of line*) yang berfungsi untuk memastikan bahwa sambungan kabel tetap utuh dan tidak terputus [12]. Kelemahan dari konfigurasi ini adalah tidak mampu menunjukkan titik *trigger* secara spesifik. Jika ada kabel yang rusak atau korsleting, seluruh area deteksi tersebut akan terganggu tanpa informasi di mana letak masalahnya [13]. Berdasarkan penelitian terkait sistem proteksi kebakaran pada gedung, ditemukan bahwa sekitar 35% kegagalan sistem berasal dari permasalahan kabel dalam konfigurasi seperti ini [14].

Sistem *addressable* menggunakan susunan kabel yang membentuk satu *loop*, di mana semua detektor terhubung dalam satu jalur yang saling menyatu. Masing-masing detektor diberikan alamat atau identitas khusus, sehingga lokasi detektor yang aktif dapat langsung diketahui secara spesifik [15]. Karena kabel disusun melingkar, sistem ini dapat tetap berfungsi meskipun terjadi kerusakan di salah satu sisi kabel, karena sinyal bisa dialihkan lewat jalur lainnya [16]. Penerapan sistem ini biasanya sudah dilengkapi dengan teknologi komunikasi digital seperti protokol MODBUS, yang memungkinkan pertukaran data dua arah dengan kecepatan hingga 1,25 Mbps [15]. Berdasarkan hasil penelitian terkini, penggunaan konfigurasi *loop* seperti ini dapat menghemat panjang kabel hingga 60% dibandingkan dengan sistem konvensional, khususnya pada instalasi di area menengah [17].

Tabel 2.3 membandingkan dua jenis konfigurasi kabel yang digunakan dalam sistem untuk mendeteksi alamat tiap segmen *smoke detector*. *Single wire* merupakan konfigurasi dasar yang menghubungkan *smoke detector* ke panel kontrol hanya melalui satu jalur kabel utama. Konfigurasi ini cocok untuk sistem sederhana yang menggunakan *smoke detector* konvensional. Namun, kekurangannya adalah sistem tidak bisa

secara akurat menunjukkan letak *trigger* tersebut. Sebaliknya, *cross wire* memiliki keunggulan dalam hal keandalan dan kemampuan deteksi lokasi *trigger*. Konfigurasi ini cocok digunakan untuk sistem yang memerlukan pemantauan status kabel secara *real-time* atau deteksi segmentasi lokasi aktif, seperti pada *smoke detector addressable*.

Tabel 2.3 Perbandingan Konfigurasi *Single Wire* dan *Cross Wire* pada *Smoke detector*

Aspek	<i>Single Wire</i>	<i>Cross Wire</i>
Konfigurasi Jalur Kabel	Jalur tunggal dari panel kontrol ke <i>smoke detector</i>	Jalur <i>loop</i> dari dan kembali ke panel kontrol
Kemampuan Deteksi Alamat	Terbatas, bergantung pada urutan pemasangan	Lebih akurat dalam pelacakan posisi
Jenis <i>Smoke detector</i>	Umumnya digunakan pada sistem konvensional	Dapat digunakan untuk sistem konvensional dan <i>addressable</i>
Keandalan Sistem	Cukup untuk area kecil	Lebih andal untuk segmentasi
Aplikasi di Sistem	Digunakan pada segmen dengan <i>smoke detector</i> konvensional	Digunakan pada segmen dengan kebutuhan pemantauan dua arah

2.3. Fuzzy logic

Fuzzy logic merupakan metode pemrosesan informasi yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan ketidaktepatan pada data *input* dengan mendefinisikan nilai dalam rentang kontinu antara 0 dan 1. Pendekatan ini memungkinkan representasi data dalam bentuk linguistik seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”, yang lebih sesuai untuk kondisi dunia nyata dibandingkan logika biner konvensional [4]. Struktur dasar dari sistem *fuzzy logic* terdiri dari tiga tahap utama, yaitu *fuzzification*, *inference engine*, dan *defuzzification*. Proses *fuzzification* berfungsi untuk mengubah *input* numerik menjadi derajat keanggotaan berdasarkan fungsi keanggotaan tertentu. Selanjutnya, *inference engine* memproses aturan-aturan berbasis logika linguistik seperti IF-THEN, kemudian menghasilkan

output fuzzy. Pada tahap akhir, *defuzzification* dilakukan untuk mengubah *output fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan untuk pengambilan Keputusan [18].

Fuzzy Sugeno adalah metode logika *fuzzy* yang digunakan untuk membuat keputusan dalam aturan IF-THEN. Metode ini menggunakan fungsi dan keanggotaan *fuzzy* untuk memodelkan hubungan *input-output*. Kelebihan metode ini terletak pada kemampuan untuk membuat *output* numerik berdasarkan kombinasi *input linier* [19].

Model *fuzzy Sugeno* terbagi menjadi dua, yaitu orde nol dan orde satu. Pada model Sugeno orde nol, konsekuen aturan *fuzzy* dinyatakan sebagai nilai konstan, sebagaimana dirumuskan dalam persamaan 2.1.

$$\begin{aligned} &IF(X_1 \text{ is } A_1) \text{ AND } (X_2 \text{ is } A_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } (X_n \text{ is } A_n) \\ &THEN z = k \end{aligned} \quad (2.1)$$

Sementara itu, pada model Sugeno orde satu, konsekuen aturan *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk fungsi linear terhadap variabel *input*, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan 2.2.

$$\begin{aligned} &IF(X_1 \text{ is } A_1) \text{ AND } (X_2 \text{ is } A_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } (X_n \text{ is } A_n) THEN z \\ &= p_1X_1 + p_2X_2 + \dots + p_nX_n + q \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dimana $k, p_1, p_2, \dots, p_n$, dan q merupakan parameter yang ditentukan berdasarkan data. Setelah dilakukan proses inferensi, metode Sugeno menggunakan teknik defuzzifikasi dengan mencari nilai rata-rata berbobot dari semua aturan yang berlaku [19]. Metode *fuzzy logic* yang digunakan dalam sistem ini adalah Sugeno orde 0, di mana setiap rule menghasilkan *output* berupa nilai konstan sesuai tingkat kondisi kebakaran

Dalam sistem logika *fuzzy*, fungsi keanggotaan digunakan untuk menggambarkan tingkat keanggotaan suatu nilai dalam suatu himpunan *fuzzy*. Salah satu bentuk fungsi keanggotaan yang umum digunakan adalah fungsi linear, baik naik (*increasing*) maupun turun (*decreasing*). Fungsi *linear* naik digunakan untuk menggambarkan perubahan nilai keanggotaan dari 0 menjadi 1 dalam rentang tertentu seperti pada persamaan 2.3

$$\mu(x) = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, x_1 \leq x \leq x_2 \quad (2.3)$$

Sedangkan fungsi *linear* turun digunakan untuk menggambarkan nilai keanggotaan dari 1 menjadi 0 dalam rentang tertentu seperti pada persamaan 2.4

$$\mu(x) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, x_1 \leq x \leq x_2 \text{ atau } \mu(x) = 1 - \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.4)$$

Pada sistem ini, *fuzzy logic* digunakan untuk membagi tingkat kedaruratan menjadi Normal, Waspada, Bahaya, dan Darurat.

Fungsi keanggotaan untuk jumlah segmen aktif (Y) memiliki bentuk yang sama dengan (X) karena domainnya identik. Inferensi *fuzzy* dilakukan berdasarkan aturan IF-THEN yang menggunakan operator Min (AND) untuk menentukan bobot aktivasi aturan (w_i) dengan persamaan 2.5.

$$w_i = \min(\min(\mu_{X_i}, \mu_{Y_i})\mu_{Z_i}) \quad (2.5)$$

Karena metode Sugeno tidak memerlukan *defuzzifikasi* kompleks, *output* ditentukan dengan rata-rata berbobot pada persamaan 2.6

$$y = \frac{\sum(w_i \cdot z_i)}{\sum w_i} \quad (2.6)$$

Dalam sistem *Alarm* kebakaran ini, *Fuzzy logic* Sugeno digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kedaruratan berdasarkan jumlah *smoke detector* digital yang aktif dalam setiap segmen dan jumlah segmen aktif dalam sistem. Metode ini memungkinkan sistem untuk menentukan kategori tingkat bahaya secara lebih fleksibel dibandingkan dengan pendekatan berbasis logika biner, yang hanya mengenali status ON atau OFF.

2.4. Error

Dalam matematika, *error* adalah persentase perbedaan antara nilai yang diharapkan atau diprediksi dan hasil aktual. Persentase *error* biasanya digunakan untuk menentukan seberapa akurat model prakiraan untuk perhitungan tertentu [20]. Kesalahan dalam memecahkan suatu teknik atau ilmu masalah bisa timbul karena beberapa faktor salah satunya adalah kesalahan mungkin dalam teknik pemodelan. Sebuah model matematika

mungkin didasarkan pada menggunakan asumsi yang tidak dapat diterima [21].

$$\text{Persentase error} = \left| \frac{\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Eksak}}{\text{Nilai Eksak}} \right| \times 100\% \quad (2.7)$$

Berdasarkan persamaan 2.7, nilai aktual adalah hasil pengukuran atau percobaan, sedangkan nilai eksak merupakan nilai acuan yang dianggap benar. Selisih antara keduanya kemudian dibagi dengan nilai eksak, lalu dikalikan 100% untuk menyatakannya dalam bentuk persen. Semakin kecil nilai persentase *error*, semakin akurat hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai sebenarnya.

2.5. Akurasi

Akurasi merupakan perhitungan seberapa dekat suatu angka hasil pengukuran atau pemrosesan terhadap angka atau data sebenarnya. Jadi, akurasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah angka hasil pengukuran, yaitu nilai yang menunjukkan hasil *output* yang benar berdasarkan data yang berasal dari objek penelitian [22].

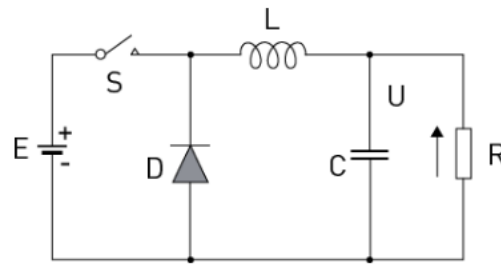
$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Nilai Pengukuran}}{\text{Nilai Sebenarnya}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Rumus 2.8 menunjukkan seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya dalam bentuk persentase. Nilai pengukuran adalah hasil eksperimen atau perhitungan yang diperoleh, sedangkan nilai sebenarnya adalah acuan atau data yang dianggap benar. Jika nilai pengukuran sama persis dengan nilai sebenarnya, maka akurasi = 100%. Semakin besar persentase akurasi, semakin baik kualitas hasil pengukuran karena nilainya mendekati nilai sebenarnya.

2.6. Power supply dan Regulator Tegangan

2.6.1. DC-DC 9A 300W Step-Down (Buck Converter)

DC-DC *Step-Down* adalah rangkaian elektronik untuk mengubah tegangan *input* yang lebih tinggi menjadi tegangan *output* yang lebih rendah. DC-DC *Converter* yang digunakan pada sistem ini adalah jenis *Step-Down* atau *Buck converter*.



Gambar 2.2 Schematic DC-DC Converter [23]

Berdasarkan Gambar 2.2 Prinsip kerja *buck converter* adalah dengan menurunkan tegangan *input* ke tegangan *output* yang lebih rendah menggunakan saklar (MOSFET), induktor, dioda, dan kapasitor. Ketika saklar menyala, arus mengalir melalui induktor dan energi disimpan dalam bentuk medan magnet. Saat saklar mati, energi yang tersimpan dalam induktor mengalir melalui dioda ke kapasitor dan beban, menjaga kestabilan arus dan tegangan. Tegangan *output* diatur dengan mengubah rasio waktu saklar menyala dan mati (*duty cycle*). Induktor dan kapasitor berfungsi untuk menyaring arus dan menghaluskan tegangan, menghasilkan *output* yang stabil dan efisien [23].

Dari Tabel 2.4, digunakan DC-DC Step-Down Converter 9A 300W yang bekerja dengan range *input* 5-40V dan range *output* 1.2-35V sehingga sesuai untuk digunakan pada sistem FACP yang memerlukan konversi tegangan *input* 24V menjadi tegangan *output* 12V, 5V, dan 3.3V yang dibutuhkan oleh mikrokontroler dan aktuator.

Tabel 2.4 Spesifikasi DC-DC Step Down [24]

Subjek	Spesifikasi
<i>Input Voltage</i>	5-40V
<i>Output Voltage</i>	1.2-35V
<i>Output Current</i>	9A
<i>Constant Current Range</i>	0.2-9A
<i>Output Power</i>	300W

2.6.2. SMPS 24V 1A

SMPS adalah perangkat konversi daya listrik yang lebih efisien dibandingkan *power supply linear*. SMPS bekerja dengan prinsip *switching* untuk mengatur tegangan dan arus *output*, sehingga memiliki ukuran lebih kecil, hemat energi, dan mampu beroperasi dalam rentang tegangan luas.



Gambar 2.3 SMPS 24V 1A

SMPS pada Gambar 2.3 mengubah daya AC menjadi DC melalui rektifikasi dan filtrasi, lalu mengonversinya kembali menjadi AC sebelum diproses lebih lanjut untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan. SMPS tersedia dalam berbagai jenis, seperti *step-up*, *step-down*, dan *flyback* (tegangan *output* terisolasi) [25]. Perumusan dalam menentukan spesifikasi SMPS dilakukan dengan menghitung total daya dan arus yang dibutuhkan oleh sistem.

$$P_{total} = V_{outputsmps} \times I_{total} \quad (2.9)$$

Dalam persamaan 2.9, $V_{outputSMPS}$ merupakan tegangan keluaran dari SMPS, sedangkan I_{total} adalah jumlah total arus dari seluruh komponen yang disuplai oleh SMPS.

Berdasarkan Tabel 2.5, SMPS ini mendukung tegangan *input* mulai dari 100V hingga 240V AC dengan frekuensi 50/60Hz. *Output* yang dihasilkan berupa tegangan DC sebesar 24V dengan arus maksimum 10A, memberikan daya keluaran sebesar 240W. Efisiensi konversinya berkisar antara 70% hingga 95%, yang berarti sebagian besar daya *input* dapat dikonversi menjadi daya *output* dengan sedikit energi yang terbuang sebagai panas. Jika efisiensi

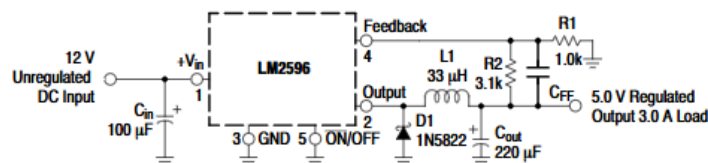
mendekati 95%, maka daya efektif yang dapat digunakan sekitar 228W.

Tabel 2.5 Spesifikasi SMPS 24V 1A

Subjek	Spesifikasi
<i>Input AC</i>	100-240VAC, 50/60Hz
<i>Output DC</i>	24VDC
<i>Output Current Max</i>	10A
Efisiensi Konversi	70% - 95%
<i>Daya Output</i>	240W (24V x 10A), jika efisiensi sekitar 95% maka daya efektifnya sekitar 228W

2.6.3. Regulator Tegangan

Regulator tegangan adalah bagian dari *power supply* yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan *output*. Tegangan DC yang dihasilkan oleh penyearah tanpa regulator cenderung mengalami perubahan selama pengoperasian. Ketidakstabilan ini umumnya disebabkan oleh fluktuasi tegangan pada *input* serta variasi beban. Oleh karena itu, regulator tegangan diperlukan untuk memastikan pasokan daya tetap stabil. IC regulator tegangan adalah IC yang berfungsi sebagai pengatur tegangan dalam suatu rangkaian elektronik. Penggunaan *voltage regulator* dalam suatu rangkaian sangat penting agar tegangan yang diberikan tetap stabil dan terhindar dari fluktuasi yang dapat memengaruhi kinerja perangkat elektronik [26].



Gambar 2.4 LM2596 Schematic [27]

Gambar 2.4 merupakan rangkaian DC-DC Step-Down Converter yang menggunakan IC LM2596 untuk menurunkan tegangan 12V DC yang tidak stabil menjadi 5V DC yang stabil

dengan arus maksimum 3A. Pada bagian *input*, kapasitor C_{in} ($100\mu\text{F}$) digunakan untuk menyaring noise dan fluktuasi tegangan sebelum masuk ke pin V_{in} (1) dari LM2596. Pin GND (3) dihubungkan ke *ground*, sementara pin ON/OFF (5) di-*ground*-kan agar regulator tetap aktif.

IC LM2596 bekerja dengan prinsip switching regulator, di mana tegangan *output* dikendalikan oleh pin Feedback (4) yang mendapatkan umpan balik dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari R_1 ($1\text{k}\Omega$) dan R_2 ($3.1\text{k}\Omega$) untuk mempertahankan tegangan stabil di 5V. Induktor L_1 ($33\mu\text{H}$) berfungsi menyimpan dan melepaskan energi selama proses switching, sementara dioda D_1 (1N5822 Schottky Diode) mencegah arus balik ke regulator. Kapasitor C_{out} ($220\mu\text{F}$) bertugas menyaring ripple tegangan yang masih tersisa setelah proses switching. Selain itu, kapasitor C_{ff} membantu meningkatkan stabilitas sistem dengan mengurangi noise pada jalur feedback.

Berdasarkan Tabel 2.6, regulator ini mampu bekerja dengan tegangan suplai maksimum 45V. LM2596 memiliki fitur tegangan *output* yang dapat disesuaikan dalam kisaran 1.23V hingga 37V, memungkinkan fleksibilitas untuk berbagai kebutuhan daya. Dengan kapasitas arus *output* maksimum 3A dan menggunakan frekuensi internal oscillator sebesar 160 kHz, yang berperan dalam proses *switching*.

Tabel 2.6 Spesifikasi LM2596 Voltage Regulator [27]

Subjek	Spesifikasi
<i>Max. Supply Voltage</i>	45 V
<i>Adjustable Output Voltage</i>	1.23V – 37V
<i>Output Load Current</i>	3 A
<i>Efficiency</i>	73%
<i>Frequency Internal Oscillator</i>	160 kHz
<i>Storage Temperature</i>	-65°C ~ 150°C

2.6.4. Kapasitor Elco

Kapasitor elektrolit atau elco adalah jenis kapasitor yang menggunakan elektrolit sebagai salah satu elektrodanya untuk memungkinkan penyimpanan muatan dalam jumlah besar. Kapasitor ini memiliki polaritas tetap, yang berarti terdapat terminal positif (+) dan negatif (-). Kapasitor elektrolit bekerja berdasarkan prinsip dasar penyimpanan dan pelepasan muatan listrik. Ketika diberikan tegangan, kapasitor akan menyimpan energi dalam bentuk medan listrik di antara dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik [28].

Pada Tabel 2.7, nilai kapasitansi 220 mikrofard (μF) menunjukkan kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan listrik. Semakin besar nilai kapasitansi, semakin besar energi yang dapat disimpan. Kapasitor ini memiliki tegangan kerja maksimum 16 volt (V), yang berarti kapasitor hanya dapat beroperasi secara aman pada tegangan hingga 16V. Penggunaan kapasitor pada tegangan yang lebih tinggi dari batas ini dapat menyebabkan kegagalan isolasi dan bahkan kerusakan permanen.

Tabel 2.7 Spesifikasi Kapasitor Elco 220 μF 16V [29]

Subjek	Spesifikasi
<i>Capacitancy</i>	220 μF
<i>Operational Voltage</i>	16 V
<i>Dimension</i>	8 mm (Diameter) * 10.5 mm (Height)
<i>Tolerance</i>	$\pm 20\%$
<i>Temperature Range</i>	-40 °C to +85 °C

Berdasarkan Tabel 2.8 kapasitor ini bekerja dengan tegangan operasional 25 V. Kapasitor ini memiliki toleransi kapasitansi sebesar $\pm 20\%$, yang berarti nilai aktualnya dapat berkisar antara 176 μF hingga 264 μF .

Tabel 2.8 Spesifikasi Kapasitor Elco 220 uF 25V [30]

Subjek	Spesifikasi
<i>Capacitancy</i>	220 μ F
<i>Operational Voltage</i>	25 V
<i>Dimension</i>	5 mm (Diameter) * 11 mm (Height)
<i>Tolerance</i>	$\pm 20\%$
<i>Temperature Range</i>	-40 °C to +85 °C

2.6.5. Baterai

Baterai adalah perangkat elektrokimia yang berfungsi sebagai penyimpan dan penyedia energi listrik. Energi ini dihasilkan dari reaksi kimia yang terjadi di dalam baterai dan dapat disimpan serta digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari perangkat elektronik portabel hingga sistem penyimpanan energi skala besar [31]. FACP menggunakan 2 (dua) baterai 12V yang dihubungkan secara seri sebagai sumber daya cadangan untuk memastikan sistem tetap berfungsi meskipun terjadi pemadaman listrik. Baterai ini dihubungkan ke MCB DC untuk melindungi jalur daya dan memastikan suplai daya tetap aman.

Berdasarkan Tabel 2.9, kapasitas baterai sebesar 5 AH menunjukkan bahwa baterai dapat menyediakan arus 5A selama 1 jam atau 0.25A selama 20 jam sebelum mencapai tegangan batasnya. Baterai ini memiliki resistansi internal sekitar 45 m Ω , yang mempengaruhi efisiensi pengisian dan pengosongan daya. Untuk pengosongan daya (*discharge*), baterai ini mampu menangani arus maksimum hingga 60A selama 5 detik. Dari segi suhu operasional, baterai ini dapat digunakan pada rentang -15°C hingga 50°C untuk *discharge*, sementara pengisian daya optimal berada pada rentang 0°C hingga 40°C. Untuk penyimpanan jangka panjang, baterai dapat disimpan pada suhu -15°C hingga 40°C. Untuk *cycle use*, baterai memerlukan arus pengisian awal kurang dari 1.2A dengan tegangan

antara 14.4V hingga 15.0V pada suhu 25°C, dengan koefisien suhu -30mV/°C. Dalam mode *Standby*, tegangan pengisian berada pada kisaran 13.5V hingga 13.8V, dengan koefisien suhu -20mV/°C.

Tabel 2.9 Spesifikasi Baterai SMT125 [32]

Subjek	Spesifikasi
<i>Voltage</i>	12V
<i>Capacity</i>	5AH
<i>Dimension</i>	90(L) * 70(W) * 106(H)
<i>Terminal</i>	T1
<i>Rated Capacity</i>	5.0 AH/0.25A – (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
<i>Max. Discharge Current</i>	60A (5s)
<i>Internal Resistance</i>	Approx 45m
<i>Operating Temperature</i>	Discharge = -15~50°C (5~122°F) Charge = 0~40°C (32~104°F) Storage = -15~40°C (5~104°F)
<i>Nominal Operating Temperature Range</i>	25±3°C (77±5°F)

$$\text{Waktu Backup} = \frac{\text{Daya Total Baterai}}{\text{Daya Sistem}} \quad (2.10)$$

Perhitungan waktu backup baterai dapat menggunakan rumus persamaan 2.10 yaitu daya total baterai dibagi dengan daya sistem.

2.5. Sensor dan Pemrosesan Data

2.5.1. RFID

RFID adalah metode untuk mengenali atau mengidentifikasi sesuatu dari jarak jauh dengan bantuan gelombang radio. Alat ini biasanya berbentuk label atau kartu yang bisa ditempelkan pada barang, hewan, atau bahkan manusia. RFID bekerja dengan mengirimkan sinyal melalui frekuensi tertentu, seperti 125 kHz,

13,65 MHz, atau 800–900 MHz, untuk mengetahui informasi tentang benda atau orang tersebut [33].

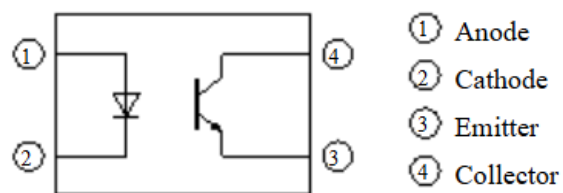
Tabel 2.10 merupakan spesifikasi RFID MFRC522 yang bekerja pada tegangan suplai antara 2,5 hingga 3,6 VDC. Modul ini beroperasi pada frekuensi 13,56 MHz, yang merupakan frekuensi standar untuk komunikasi RFID jarak dekat. MFRC522 mendukung berbagai jenis kartu RFID tipe MIFARE, seperti MF1S50, MF1S20, dan MF1S70.

Tabel 2.10 Spesifikasi RFID MFRC522 [34]

Subjek	Spesifikasi
<i>Supply Voltage</i>	2.5 – 3.6 VDC
<i>Supported Card</i>	MF1S50, MF1S20, MF1S70
<i>Frequency</i>	13.56MHz

2.5.2. PC817 Optocoupler

PC817 adalah optocoupler yang digunakan untuk isolasi listrik antara bagian *input* dan *output* dalam rangkaian elektronik. Optocoupler ini berfungsi dengan cara mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik dan kemudian kembali ke sinyal listrik, sehingga memungkinkan transfer data tanpa adanya koneksi langsung antar rangkaian.



Gambar 2.5 Schematic PC817 [35]

Prinsip kerja optocoupler pada Gambar 2.5 yaitu ketika arus mengalir melalui LED dari *anode* (pin 1) ke *cathode* (pin 2), LED akan menyala dan memancarkan cahaya inframerah. Cahaya ini kemudian diterima oleh fototransistor, yang menyebabkan transistor menjadi aktif sehingga arus dapat mengalir dari kolektor (pin 4) ke

emitor (pin 3). Sebaliknya, jika LED dalam keadaan mati, tidak ada cahaya yang mengenai fototransistor, sehingga transistor tetap dalam kondisi off dan tidak menghantarkan arus.

Berdasarkan Tabel 2.11, arus maksimum yang bisa diberikan ke LED internal adalah 50 mA, namun dapat menangani lonjakan singkat hingga 1 A. Fototransistor dalam PC817 dapat menangani tegangan hingga 80V di kolektor-emitor. Tegangan maksimum dari emitor ke kolektor hanya 6V, yang berarti transistor tidak dirancang untuk pengoperasian terbalik. Arus maksimum yang dapat mengalir di kolektor adalah 50 mA.

Tabel 2.11 Spesifikasi Optocoupler PC817 [35]

Subjek	Spesifikasi
<i>Forward current</i>	50 mA
<i>Peak forward current</i>	1 A
<i>Reverse voltage</i>	6 V
<i>Power dissipation</i>	70 mW
<i>Collector-emitter voltage</i>	80 V
<i>Emitter-collector voltage</i>	6 V
<i>Collector current</i>	50 mA
<i>Collector power dissipation</i>	150 mW
<i>Isolation Voltage</i>	5.0 kV
<i>Operating temperature</i>	-30 to +100 °C

2.5.3. Induktor DS1207

Induktor bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sesuai dengan Hukum Faraday. Ketika arus listrik mengalir melalui induktor, energi disimpan dalam bentuk medan magnet di sekitar kumparannya. Saat arus mulai mengalir, medan magnet terbentuk di sekitar kumparan. Induktor akan menahan perubahan cepat arus dengan mencoba mempertahankan kestabilan aliran arus listrik. Energi yang tersimpan dalam medan magnet ini sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir melalui induktor.

Seberapa cepat induktor merespons perubahan arus ditentukan oleh seberapa besar lilitannya dan seberapa besar induktansinya. Semakin banyak lilitan atau semakin besar induktansinya, semakin sulit arus berubah dengan cepat [36].

Berdasarkan Tabel 2.12, nilai induktansi sebesar 100 mikroherry (μH) menunjukkan kemampuannya untuk menyimpan energi dalam medan magnet dan menahan perubahan arus secara tiba-tiba. Induktor ini memiliki toleransi induktansi $\pm 20\%$, yang berarti nilai aktualnya dapat bervariasi dalam rentang tersebut. Nilai DCR yang rendah, yaitu 0,1 ohm, mengindikasikan kehilangan daya yang minim selama operasi. Komponen ini juga mampu menangani arus maksimum hingga 2 ampere. Dengan frekuensi kerja hingga 1 MHz, induktor ini ideal untuk aplikasi frekuensi tinggi.

Tabel 2.12 Spesifikasi Induktor

Subjek	Spesifikasi
Nilai Induktansi	100 μH
Toleransi Induktansi	$\pm 20\%$
DCR	0,1 Ω
Arus Maksimum	2A
Frekuensi Kerja	hingga 1MHz
Tipe	SMD Power Inductor

2.6. Mikrokontroler dan Modul Pendukung

2.6.1. STM32F4

Gambar 2.6 merupakan STM32F4 mikrokontroler utama dalam sistem FACP yang bertanggung jawab dalam penerimaan data dari sensor, pemrosesan sinyal, dan pengendalian *output* sistem. Mikrokontroler ini memiliki arsitektur ARM Cortex-M4 dengan unit FPU yang memungkinkan pemrosesan data yang cepat.



Gambar 2.6 Mikrokontroler STM32F4

Dari **Kesalahan! Bukan swa-referensi bookmark yang valid.**, Mikrokontroler STM32F4 memiliki 1MB Flash untuk penyimpanan program dan 192KB RAM. STM32F4 dilengkapi dengan ST-LINK/V2-A, yang memungkinkan pemrograman dan debugging secara langsung. Catu daya mikrokontroler ini dapat menggunakan tegangan 5V melalui USB atau 3,3V. STM32F4 mendukung komunikasi USART, SPI, I2C, USB serta dilengkapi Timer, ADC, dan DAC. USART menggunakan pin TX dan RX untuk mengirim dan menerima data secara sinkron maupun asinkron, digunakan untuk komunikasi dengan ESP32. SPI menggunakan pin MOSI, MISO, SCK, dan SS untuk komunikasi data kecepatan tinggi antara mikrokontroler dengan sensor. Sementara itu, I2C hanya menggunakan dua pin, yaitu SDA dan SCL, untuk komunikasi data dua arah yang efisien dengan sistem pengalamatan [37].

Tabel 2.13 Spesifikasi STM32F4

Subjek	Spesifikasi
<i>Core</i>	32-bit Arm [®] Cortex [®] -M4 with FPU core
Kecepatan Clock	168MHz
<i>IC Package</i>	LQFP64, LQFP100, LQFP144, dan lain-lain
<i>Memory</i>	1Mb Flash, 192KB RAM in LQFP100 Package
<i>Debugger/Programmer On Board</i>	ST-LINK/V2-A

<i>Power</i>	USB 5V or 3V
Tabel Lanjutan 2.13 Spesifikasi STM32F4	
Subjek	Spesifikasi
Periferal	USART, SPI, I2C, CAN, USB, Timer, ADC, DAC
Tombol	1 Tombol Pengguna, 1 Tombol <i>Reset</i>
Port USB OTG	Micro-AB
<i>Software</i> Pendukung	STM32CubeF4 atau STSW-STM32068 (legacy standard libraries)

USB pada STM32F4 berfungsi sebagai jalur utama untuk komunikasi data digital menggunakan protokol USB, khususnya melalui dua pin utama yaitu D+ dan D-. Kedua pin ini digunakan untuk transmisi data secara diferensial, baik saat STM32 berperan sebagai perangkat (*device*) maupun sebagai pengendali utama (*host*). Selain untuk pengiriman data, pin tersebut juga mendukung fitur deteksi koneksi dan pengaturan mode operasi USB [38]. ADC bekerja dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital melalui beberapa tahap, yaitu *sampling*, *hold*, *quantization*, dan *encoding*. Sementara itu, DAC melakukan proses sebaliknya, yaitu mengubah data digital menjadi sinyal analog dengan mengambil nilai digital, mengubahnya menjadi tegangan atau arus yang sesuai, lalu mengeluarkannya sebagai sinyal analog yang bisa digunakan oleh actuator [39].

2.6.2. ESP32

ESP-WROOM-32U pada Gambar 2.7 adalah modul *Wi-Fi* dan *Bluetooth* yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, berbasis ESP32, sebuah mikrokontroler *dual-core* dengan kemampuan konektivitas nirkabel. Modul ini menggunakan ESP32-D0WD, prosesor berbasis *dual-core Tensilica LX6*.



Gambar 2.7 Mikrokontroler ESP32U [40]

Tabel 2.14 Spesifikasi ESP-WROOM-32U [41]

Subjek	Spesifikasi
<i>Core</i>	ESP32-D0WD
<i>SPI flash</i>	32 Mbits, 3.3V
<i>Crystal</i>	40 MHz
<i>Antenna</i>	External Antenna Connector
<i>Dimensions</i>	18*19.2*3.2 mm
<i>Operating voltage</i>	3.0 V ~ 3.6 V
<i>Operating current</i>	Average: 80 mA
<i>Minimum current delivered by power supply</i>	500 mA
<i>Temperature</i>	-40°C ~ 85°C
<i>Wi-Fi certification</i>	Wi-Fi Alliance

Berdasarkan Tabel 2.14, ESP-WROOM-32U dilengkapi dengan memori flash SPI berkapasitas 32 Mbits (4 MB), yang digunakan untuk menyimpan *firmware* dan data pengguna. Modul ini menggunakan *crystal oscillator* 40 MHz, yang berfungsi sebagai sumber *clock* utama untuk prosesor dan sistem komunikasi. ESP-WROOM-32U memiliki konektor antena eksternal (U.FL) yang memungkinkan modul untuk menggunakan antena dengan gain lebih tinggi, sehingga memperluas jangkauan sinyal dan meningkatkan kualitas komunikasi.

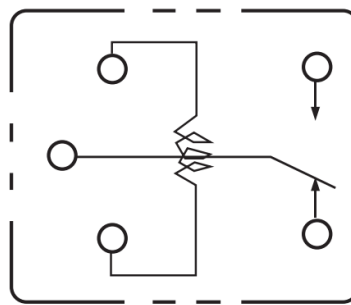
2.6.3. Relay HRS4H DC5V

Relay HRS4H DC5V pada Gambar 2.8 digunakan dalam sistem ini sebagai aktuator untuk mengontrol *output* fisik, seperti

buzzer, annunciator, atau perangkat eksternal lainnya. Relay ini bekerja dengan cara mengaktifkan atau memutuskan arus listrik ke perangkat yang dikontrol, berdasarkan sinyal yang diterima dari STM32F4.



Gambar 2.8 Relay HRS4H DC5V [42]



Gambar 2.9 HRS4H Wiring Diagram [43]

Berdasarkan Gambar 2.9, dua titik di sisi kiri adalah terminal untuk kumparan relay dan dua titik di sisi kanan adalah terminal saklar keluaran NO/NC yang digunakan untuk mengendalikan beban eksternal. Saat tegangan 5V DC diberikan ke kumparan relay, saklar internal akan berubah posisi, menghubungkan jalur keluaran dari NC ke NO. Jika tidak ada tegangan yang diberikan ke kumparan, maka terminal akan kembali ke posisi semula.

Berdasarkan Tabel 2.15, relay diaktifkan dengan tegangan 5V DC yang sesuai untuk digunakan dengan mikrokontroler STM32F4. Relay akan mulai bekerja atau aktif saat diberikan tegangan minimal 3.5V DC atau lebih. Ini berarti meskipun daya dari mikrokontroler mengalami sedikit penurunan, relay masih bisa

beroperasi. Relay akan kembali ke kondisi awal saat tegangan pada kumparan turun hingga 0.5V DC atau lebih rendah.

Tabel 2.15 Spesifikasi Relay HRS4H-DC5V [44]

Subjek	Spesifikasi
<i>Nominal Voltage</i>	5 VDC
<i>Coil Resistance</i>	70 Ω ±10%
<i>Operate Voltage</i>	3.50 VDC
<i>Release Voltage</i>	0.5 VDC
<i>Coil Power</i>	360 mW
<i>Operate Time</i>	Max. 10ms
<i>Release Time</i>	Max. 5ms
<i>Temperature Range</i>	-30 to 85°C

Dalam sistem FACP, relay ini diaktifkan ketika tingkat *emergency* yang terdeteksi mencapai *level* tertentu. Misalnya, jika sistem mendeteksi kondisi Bahaya, relay akan diaktifkan untuk menyalakan *buzzer* sebagai peringatan suara. Jika kondisi meningkat menjadi Darurat, relay dapat digunakan untuk mengaktifkan *annunciator* guna memberikan peringatan lebih kuat.

2.6.4. Solenoid Doorlock

Solenoid doorlock adalah perangkat elektronik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Komponen ini menggunakan tegangan 12 volt untuk beroperasi. Dalam keadaan normal, kunci berada dalam posisi tertutup atau mengunci pintu. Namun, ketika dialiri tegangan 12 volt, kunci akan terbuka secara otomatis [43].

Berdasarkan Tabel 2.16, perangkat ini bekerja pada tegangan 12 VDC dengan arus rata-rata sebesar 0,3 ampere. Gaya dorong yang dihasilkan sebesar 4 Newton dengan panjang gerakan 10 mm, yang cukup untuk membuka atau mengunci pintu secara mekanis. Pada sistem ini, *solenoid doorlock* digunakan untuk mengunci pintu pada FACP.

Tabel 2.16 Spesifikasi *Solenoid Door Lock*

Subjek	Spesifikasi
<i>Rated Voltage</i>	12 VDC
<i>Rated Current</i>	0.3 A
<i>Force/Stroke</i>	4N/10 mm

2.6.5. *Shunt Resistor*

Shunt resistor adalah komponen elektronik yang digunakan untuk mengukur arus listrik dalam suatu rangkaian dengan cara menciptakan penurunan tegangan pada nilai resistansi yang sudah diketahui. Tegangan ini kemudian diukur menggunakan voltmeter, dan hasilnya digunakan untuk menghitung besar arus yang mengalir. Dalam beberapa aplikasi, shunt dapat dilengkapi dengan *amplifier* dan konverter ADC untuk meningkatkan akurasi pembacaan sinyal arus rendah [45].

$$V_{shunt} = I_{sensor} R_{Shunt} \quad (2.11)$$

Persamaan 2.11 menjelaskan hubungan antara arus keluaran smoke detector dengan tegangan yang terbaca pada mikrokontroler melalui penggunaan shunt resistor. Karena smoke detector menghasilkan sinyal berupa arus, maka diperlukan shunt resistor untuk mengubah arus tersebut menjadi tegangan. I_{sensor} adalah arus keluaran dari smoke detector dan R_{Shunt} adalah nilai resistansi shunt. Tegangan jatuh pada resistor inilah yang dibaca oleh pin ADC mikrokontroler STM32F4 untuk kemudian diproses lebih lanjut dalam sistem.

2.7. Indikator dan *Output Alarm*

2.7.1. *Buzzer Piezoelectric 5V*

Buzzer pada Gambar 2.10 merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengonversi sinyal listrik menjadi getaran suara. Salah satu jenisnya adalah *buzzer piezoelectric*, yang memanfaatkan efek piezoelektrik untuk menghasilkan bunyi. Saat tegangan listrik diberikan pada material piezoelektrik, terjadi pergerakan mekanis

yang kemudian dikonversi menjadi suara yang dapat didengar oleh manusia melalui diafragma dan resonator [46]. Pada sistem ini *buzzer* berfungsi sebagai *Alarm* internal pada FACP.



Gambar 2.10 *Buzzer Piezoelectric 5V* [47]

Dari Tabel 2.17, *buzzer* piezoelektrik ini beroperasi pada tegangan 5V DC dengan konsumsi arus maksimal 30mA. *Buzzer* ini mampu menghasilkan suara dengan intensitas maksimal 85dB pada jarak 10 cm, yang cukup keras untuk digunakan sebagai indikator audio dalam sistem peringatan. Frekuensi resonansinya berada di kisaran 2500 ± 300 Hz, yang merupakan rentang optimal untuk menghasilkan suara yang jelas dan mudah terdengar.

Tabel 2.17 Spesifikasi *Buzzer Piezoelectric* [47]

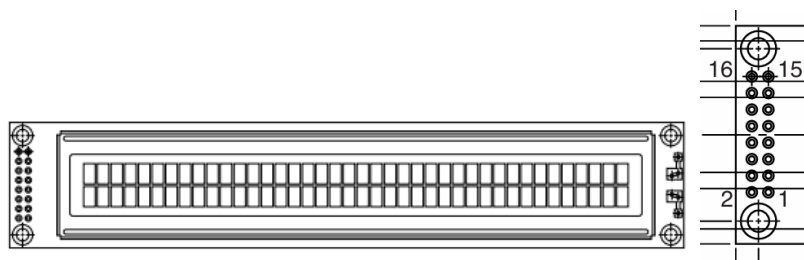
Subjek	Spesifikasi
Tegangan Kerja	5V DC
Arus max	30mA
Kekuatan suara max	85dB/10cm
Frek resonansi	2500 ± 300 hz

2.7.2. LCD 40x2

LCD seperti Gambar 2.11 merupakan jenis layar elektronik yang menggunakan teknologi *CMOS logic*. Layar ini tidak menghasilkan cahaya sendiri, melainkan memanfaatkan cahaya dari lingkungan sekitarnya dengan cara memantulkannya melalui *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD berperan sebagai media tampilan untuk menampilkan data dalam bentuk karakter, huruf, angka, maupun grafik [48].



Gambar 2.11 LCD 40x2 [49]



Gambar 2.12 Detail Pin LCD 40x2 [50]

Gambar 2.12 menampilkan detail pin pada LCD 40x2 beserta tata letak fisiknya. LCD jenis ini memiliki 40 karakter dalam dua baris, sehingga mampu menampilkan data lebih banyak dibandingkan LCD standar 16x2 atau 20x4. Pada sisi kanan gambar terlihat konfigurasi pin header dengan jumlah 16 pin yang umum digunakan sebagai antarmuka.

Berdasarkan Tabel 2.18, LCD ini memiliki beberapa pin utama. Pin 1 (GND) berfungsi sebagai referensi tegangan negatif atau *ground* sistem, sementara Pin 2 (VCC) menyediakan tegangan kerja LCD yang dapat berupa 3V atau 5V. Pin 3 (V0) digunakan untuk mengatur kontras tampilan. Pin 4 (RS) menentukan apakah data yang dikirim adalah perintah atau karakter, sedangkan Pin 5 (RW) mengatur mode operasi, yaitu *Read* atau *Write*. Pin 6 (E) bertindak sebagai sinyal pemicu untuk transfer data ke LCD dan dikontrol oleh modul I2C adapter saat komunikasi I2C digunakan. Pin 7 hingga 14 (D0-D7) merupakan jalur data yang digunakan untuk mengirim perintah atau karakter.

Tabel 2.18 Fungsi Pin Interface [50]

Pin	Fungsi
1	<i>Ground</i>
2	3V/5V
3	Contrast adjustment
4	H/L register select signal
5	H/L read/write signal
6	H→L enable signal
7	H/L data bus line
8	H/L data bus line
9	H/L data bus line
10	H/L data bus line
11	H/L data bus line
12	H/L data bus line
13	H/L data bus line
14	H/L data bus line
15	4.2 V for LED/negative voltage <i>output</i>
16	<i>Power supply</i> for B/L (0 V)

Komunikasi antara STM32F4 dan LCD menggunakan protokol serial I2C. I2C adalah protokol komunikasi yang hanya memerlukan dua jalur utama, yaitu SDA untuk transmisi data dan SCL untuk sinkronisasi antar perangkat [51]. Dalam sistem ini, STM32F4 berperan sebagai *master*, sedangkan LCD berperan sebagai *slave*. *Master* akan mengirimkan perintah dan data ke LCD melalui alamat I2C yang telah ditentukan.

2.7.3. *Annunciator*

Annunciator pada Gambar 2.13 adalah perangkat pendukung yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja FACP. *Annunciator* berperan sebagai media komunikasi dan penghubung antara

operator dengan panel detektor. Alat ini berguna dalam proses pemantauan, tetapi tidak memiliki peran aktif dalam pengendalian seperti control panel [52].



Gambar 2.13 Fire Hooter *Annunciator* [53]

Hooter atau *annunciator* adalah perangkat yang menghasilkan suara keras disertai dengan cahaya strobo. Perangkat ini dipasang di lokasi tetap dan digunakan sebagai peringatan dalam kejadian kebakaran. Perangkat ini bekerja dengan tegangan 24V DC.

2.8. Komunikasi dan Integrasi dengan *Server*

2.8.1. PC *Server*

Server adalah sebuah sistem komputer yang dirancang untuk menyediakan layanan penyimpanan data. Data yang tersimpan di *server* mencakup berbagai jenis informasi dan dokumen kompleks. Layanan ini diperuntukkan bagi *client* yang memerlukan sumber daya untuk menyajikan informasi kepada pengguna atau pengunjungnya.

Peran utama *server* adalah memastikan akses data yang cepat, baik dalam proses pengiriman maupun penerimaan informasi yang tersimpan di dalamnya. Secara fisik, *server* merupakan bagian dari jaringan komputer dengan dimensi yang cukup besar serta dilengkapi dengan komponen pendukung seperti prosesor dan RAM berkapasitas tinggi untuk memastikan kinerja optimal [54].

Tabel 2.19 menunjukkan PC *server* dengan sistem manufaktur dari ASRock dengan model B660M Pro RS. Sistem ini

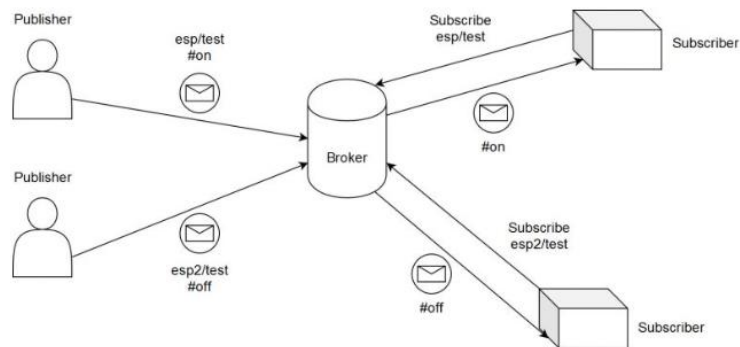
menggunakan BIOS versi 12.03 yang berfungsi sebagai pengendali utama antara perangkat keras dan perangkat lunak. Prosesor yang terpasang adalah Intel Core i5-12400F generasi ke-12 dengan konfigurasi 12 CPU thread dan kecepatan sekitar 2,5 GHz. Selain itu, sistem dilengkapi dengan 16 GB RAM, yang memberikan kapasitas memori cukup besar untuk menjalankan aplikasi multitasking maupun proses komputasi intensif secara stabil.

Tabel 2.19 Spesifikasi PC Server

Subjek	Spesifikasi
Sistem Manufaktur	ASRock
Model Sistem	B660M Pro RS
BIOS	12,03
Processor	12 th Gen Inter® Core™ i5-12400F (12 CPUs), ~2,5GHz
Memori	16,384Mb RAM

2.8.2. Protokol Komunikasi MQTT

MQTT adalah protokol komunikasi ringan berbasis publikasi-berlangganan yang dirancang untuk komunikasi M2M dan IoT. Protokol ini memungkinkan pengiriman pesan secara efisien dalam jaringan dengan *bandwidth* rendah tanpa memerlukan koneksi simultan antara *client* dan *server*. *Client* dalam sistem MQTT dapat berlangganan topik tertentu untuk menerima informasi yang dibutuhkan, sementara *broker* bertugas untuk menerima, memproses, dan mendistribusikan pesan kepada *client* yang relevan. Protokol ini menggunakan mekanisme komunikasi berbasis topik, di mana pesan dikategorikan dalam label tertentu yang memungkinkan sistem bekerja secara fleksibel dan efisien.



Gambar 2.14 Arsitektur Komunikasi MQTT [55]

Gambar 2.14 menggambarkan arsitektur komunikasi dalam protokol MQTT dengan model *publish-subscribe*. Dalam sistem ini, terdapat *broker* MQTT yang berfungsi sebagai pusat komunikasi, menerima pesan dari *publisher* dan menTerdistribusikannya ke *subscriber* yang telah berlangganan topik tertentu. Pada diagram, terdapat dua publisher yang masing-masing mengirimkan pesan ke *broker*. *Publisher* pertama mengirimkan pesan dengan topik "esp/test" dan payload "#on", sedangkan *publisher* kedua mengirimkan pesan dengan topik "esp2/test" dan payload "#off". Pesan yang diterima oleh *broker* kemudian diteruskan kepada *subscriber* yang telah berlangganan topik terkait. *Subscriber* pertama berlangganan topik "esp/test" dan menerima payload "#on", sementara *subscriber* kedua berlangganan "esp2/test" dan menerima *payload* "#off". Model komunikasi ini memungkinkan sistem MQTT bekerja secara efisien dengan memisahkan pengirim dan penerima melalui *broker*, sehingga cocok digunakan dalam sistem IoT atau komunikasi M2M.

Pesan dalam MQTT terdiri dari tiga bagian utama, yaitu *header* tetap yang berisi jenis paket kontrol dan panjang data, *header* variabel yang memuat informasi tambahan seperti pengenalan paket, serta *payload* yang mengandung data utama seperti ID *client* atau pesan aplikasi. Selain itu, MQTT memiliki berbagai jenis paket kontrol, seperti *CONNECT*, *PUBLISH*, *SUBSCRIBE*, dan

UNSUBSCRIBE, masing-masing dengan mekanisme pengakuan tersendiri. Protokol ini juga mendukung *QoS* untuk menentukan tingkat keandalan pengiriman pesan, dengan opsi mulai dari pengiriman tanpa konfirmasi hingga pengiriman yang memastikan pesan diterima tanpa duplikasi [55].

2.8.3. *Node-RED* untuk *Monitoring*

Node-RED adalah *graphical development tool* yang memudahkan integrasi antara *hardware devices*, *APIs*, dan *online services*. Awalnya dikembangkan oleh IBM untuk penggunaan internal, kemudian dibuat *open-source* pada tahun 2016. Sejak saat itu, *Node-RED* telah diadopsi secara luas dalam industri otomasi sebagai solusi sederhana untuk membuat aplikasi IIoT yang dapat mengumpulkan, memproses, dan membagikan data melalui internet.

Node-RED mempermudah pengembangan aplikasi IIoT dengan dua cara utama yaitu *Node-RED* menyediakan banyak *pre-built nodes* yang sudah siap digunakan. Dengan *node-node* ini, dapat dengan mudah menjalankan tugas-tugas kompleks seperti mengirim data melalui MQTT, Modbus/TCP, atau bahkan melalui email. Selain itu, terdapat juga *node* yang memungkinkan publikasi data ke *online services* seperti Dropbox dan Google Drive.

Node-RED menggunakan pendekatan berbasis *graphical interface*. Dalam pengembangannya, setiap *node* ditempatkan di atas canvas dan dihubungkan dengan *node* lainnya. Setiap *node* memiliki fungsi spesifik seperti mengumpulkan, memproses, atau mengirim data. Setelah aplikasi dijalankan, *flow* akan dipicu oleh suatu kejadian, lalu setiap *node* dalam alur tersebut akan dieksekusi secara berurutan dengan mengirimkan data dalam bentuk *message* ke *node* berikutnya. Pemicu *flow* dalam *Node-RED* bisa berasal dari perubahan status hardware, variabel yang mencapai *setpoint value*, atau setelah waktu tertentu berlalu [56].

2.9. Keamanan dan Proteksi dalam Sistem *Fire Alarm*

2.9.1. Dioda SMD SS34

Dioda SMD SS34 digunakan dalam sistem ini sebagai proteksi polaritas, yang berfungsi untuk mencegah kerusakan akibat kesalahan pemasangan polaritas tegangan. Jika terjadi kesalahan dalam penyambungan sumber daya, dioda ini akan memblokir arus yang salah arah sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada komponen yang sensitif terhadap polaritas seperti mikrokontroler.

Dioda SS34 merupakan *Schottky Barrier Rectifier* memiliki karakteristik *low forward voltage drop* dan *fast switching speed*. Berdasarkan Tabel 2.20, dioda ini memiliki *reverse leakage current* sebesar 100 μ A pada tegangan mundur 40V dengan *reverse voltage* maksimum 40V. *Forward voltage drop* pada SS34 hanya sekitar 550mV saat mengalirkan arus sebesar 3A. Dioda ini juga mampu menangani *average rectified current* sebesar 3A dengan *operating temperature* yang berkisar antara -50°C hingga 125°C.

Tabel 2.20 Spesifikasi Dioda SS34 [57]

Subjek	Spesifikasi
<i>Reverse Leakage Current</i>	100 μ @40V
<i>Reverse Voltage</i>	40V
<i>Forward Voltage</i>	550mV@3A
<i>Average Rectified Current</i>	3A
<i>Operating Temperature</i>	-50 ~ 125°C

2.9.2. MCB

MCB adalah komponen instalasi listrik yang bekerja berdasarkan perubahan suhu atau prinsip thermo. Fungsinya adalah melindungi sistem kelistrikan dari arus berlebih yang dapat terjadi akibat beban lebih (*overload*) maupun hubung singkat (*short circuit*). MCB akan secara otomatis memutus aliran listrik apabila arus yang melewatinya melampaui batas nominal yang ditentukan. Misalnya, MCB dengan kapasitas 2A akan memutus arus jika beban

yang digunakan melebihi 2A. Selain itu, dalam kondisi hubung singkat, MCB juga akan langsung memutus aliran listrik karena arus yang dihasilkan sangat besar dan jauh melebihi batas nominalnya.

Prinsip kerja MCB didasarkan pada dua mekanisme utama yaitu pemutusan akibat beban lebih menggunakan relay thermis berbasis bimetal dan pemutusan akibat hubung singkat menggunakan relay elektromagnetik. Ketika terjadi hubung singkat, MCB bekerja dengan sangat cepat melalui sistem elektromagnetik untuk segera menghentikan aliran arus. Sebaliknya, jika pemutusan disebabkan oleh beban lebih, prosesnya akan sedikit lebih lambat karena mengandalkan kenaikan suhu pada elemen bimetal.

Sistem perlindungan thermis pada MCB memiliki prinsip kerja yang serupa dengan thermal *overload* relay, di mana dua logam berbeda (bimetal) digabungkan dan akan melengkung akibat panas untuk memutus arus listrik. Waktu pemutusan bergantung pada besarnya arus yang harus diamankan. Sementara itu, sistem perlindungan elektromagnetik menggunakan kumparan yang mampu menarik angker dari besi lunak secara cepat untuk segera menghentikan arus ketika terjadi lonjakan signifikan akibat hubung singkat [58].

Dari Tabel 2.21, MCB ini memiliki tegangan maksimum 125V, sehingga cocok digunakan pada sistem DC 24V. Dengan arus nominal 10A, MCB ini akan memutuskan aliran listrik apabila arus yang melewatinya melebihi kapasitas tersebut, sehingga dapat mencegah kerusakan pada perangkat elektronik atau sistem kelistrikan. MCB ini memiliki tipe *Single Pole* (1P), yang berarti hanya memutus satu jalur arus dalam rangkaian. MCB ini dapat beroperasi dengan baik dalam suhu penyimpanan antara -40°C hingga 70°C.

Tabel 2.21 Spesifikasi MCB DC TOMZN 10A 1P [59]

Subjek	Spesifikasi
<i>Maximum Voltage</i>	125V
<i>Rated Current</i>	10A
<i>Storage Temperature</i>	-40°C ~ 70°C
<i>Degree of Protection</i>	IP20
<i>Circuit Braker Type</i>	<i>Single Pole</i>

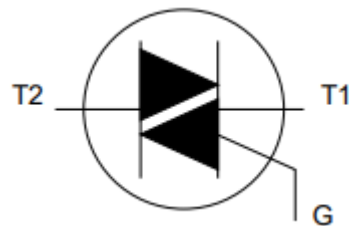
Berdasarkan **Kesalahan! Bukan swa-referensi bookmark yang valid.**, MCB ini memiliki arus nominal 2A, yang berarti akan memutuskan aliran listrik jika arus yang melewatinya melebihi batas tersebut. MCB ini bekerja pada tegangan 220V AC dengan frekuensi operasi 50/60Hz. Dengan konfigurasi *Single Pole* (1P), MCB ini hanya memutus satu jalur fase dalam rangkaian listrik.

Tabel 2.22 Spesifikasi Chint MCB 1P 2A [60]

Subjek	Spesifikasi
<i>Rated Current</i>	2A
<i>Rated Voltage</i>	220V
<i>Frequency</i>	50/60Hz

2.9.3. TRIAC BT136

TRIAC merupakan komponen semikonduktor berjenis thyristor yang dapat mengalirkan arus listrik dalam dua arah dan umum digunakan dalam rangkaian pengendali daya AC seperti pemutus arus elektronik. TRIAC memiliki tiga terminal seperti pada Gambar 2.15, yaitu T1 (Terminal 1), T2 (Terminal 2), dan *gate*, yang memungkinkan arus mengalir ketika terminal *gate* menerima sinyal pemicu dalam bentuk arus kecil. Salah satu keunggulan dari TRIAC adalah kemampuannya untuk bekerja pada arus bolak-balik tanpa memerlukan pengaturan polaritas pemicu [61].



Gambar 2.15 Simbol BT136

BT136 dengan symbol seperti Gambar 2.15 adalah salah satu tipe TRIAC yang banyak digunakan dalam aplikasi pengendali arus dan tegangan karena memiliki daya tahan terhadap arus tinggi dan kemampuan *switching* yang cepat. Dalam aplikasinya, TRIAC BT136 dapat mengendalikan beban AC dengan efisiensi tinggi dan merespons secara cepat terhadap perubahan arus yang melebihi batas, seperti pada kondisi hubung singkat atau beban berlebih [62]. Pemicu arus dari gate yang relatif kecil, yaitu sekitar 0.05 mA, cukup untuk mengaktifkan penghantaran arus AC yang besar melalui terminal MT1 dan MT2. Saat TRIAC aktif, tegangan jatuh antar terminalnya sangat kecil (sekitar 0.5V hingga 2V), yang menunjukkan efisiensi penghantaran daya [61].

Berdasarkan Tabel 2.23, komponen ini memiliki kemampuan menahan tegangan puncak berulang dalam kondisi non-konduktif sebesar 500 hingga 800 volt, yang menunjukkan ketahanannya terhadap lonjakan tegangan saat tidak menghantarkan arus. Selain itu, arus RMS maksimum yang dapat dialirkan secara kontinu saat TRIAC berada dalam kondisi aktif adalah 4 ampere, cukup untuk mengendalikan beban daya sedang. Untuk kondisi lonjakan arus sesaat, BT136 mampu menahan arus puncak *non-repeat* hingga 25 ampere, menjadikannya cocok digunakan pada sistem yang memerlukan perlindungan terhadap beban awal yang tinggi atau arus *start* yang besar.

Tabel 2.23 Spesifikasi BT136

Subjek			Spesifikasi
<i>Repetitive Voltages</i>	<i>Peak</i>	<i>Off-State</i>	500-800 V
<i>RMS on-state current</i>			4 A
<i>Non-repetitive peak on-state current</i>			25 A

2.9.4. Cooling Fan

Cooling fan pada Gambar 2.16 merupakan perangkat yang berperan dalam mendukung proses pendinginan pada mesin. Alat ini bekerja dengan mengalirkan udara ke arah mesin guna membantu menurunkan suhu dan menjaga kestabilan operasionalnya [63].



Gambar 2.16 Cooling Fan [64]

Cooling fan ini dirancang agar penempatannya disesuaikan dengan lokasi sistem yang bersuhu tinggi yaitu pada blok *power supply*.

2.9.5. Fuse

Fuse atau sekering merupakan komponen penting dalam rangkaian listrik dan elektronika yang berfungsi sebagai pengaman terhadap arus listrik berlebih atau short circuit. Komponen ini biasanya terdiri dari kawat halus pendek yang akan meleleh dan terputus saat terjadi kelebihan arus, sehingga mencegah kerusakan pada komponen lain di dalam rangkaian. Dengan perannya yang vital, *fuse* digunakan pada perangkat sebagai sistem perlindungan utama terhadap gangguan listrik [65].



Gambar 2.17 *Fuse* [66]

Gambar 2.17 merupakan *fuse* tabung kaca, jenis sekering berbentuk silinder transparan yang memiliki dua ujung logam berbahan kuningan atau tembaga yang dilapisi chrome nikel. Sekering ini umumnya digunakan sebagai pengaman utama dalam sistem kelistrikan kendaraan, khususnya pada mobil-mobil model lama. *Fuse* ini memiliki ukuran standar dengan diameter sekitar 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ inci), dan batas arus maksimal yang dapat ditahan biasanya tercantum pada bagian penutupnya [66].