

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Studi yang dilakukan pada tahun 2020 oleh Hinawan T. Santoso berjudul "Penilaian Kondisi Jembatan untuk Persyaratan Laik Fungsi dengan Uji Getar". Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi apakah jembatan memenuhi persyaratan laik fungsi sesuai dengan peraturan menteri pekerjaan umum No.11/PRT/M/2010 tentang tata cara dan persyaratan laik fungsi jalan. Uji getar dilakukan dengan menggunakan metode eksitasi beban luar menggunakan jumping test, di mana roda depan truk melintasi ganjal (*jumper*) dan kemudian melompat dari ketinggian 20 cm, sehingga menciptakan beban kejut pada lantai jembatan. Sensor accelerometer digunakan untuk merekam respons getaran dan parameter dinamik lainnya [12].

Penelitian yang dilakukan oleh Syufrijal yang dilakukan tahun 2018 berjudul "*Prototype* Sistem Pengukuran Jarak dan Kemiringan Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Berbasis *Internet of Things* (IoT)". Penelitian ini dibuat untuk memperhatikan mengenai bidang konstruksi seperti LRT, MRT, dan gedung-gedung, yang dapat berdampak negatif pada keselamatan pekerja dan orang di sekitarnya, bahkan dapat menyebabkan kecelakaan fatal. Menggunakan Arduino mega 2560 dengan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* MPU6050 agar dapat mengukur sudut kemiringan pada bidang konstruksi yang telah disebutkan diatas [13].

Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 oleh Putri Indrayanti dkk, dengan judul "*Sistem Pengendali Traffic, Beban, dan Peringatan Dini Pada Jembatan Dengan Pemantauan Berbasis Android*", Penelitian ini difokuskan pada pengendalian lalu lintas saat kendaraan melintasi jembatan dengan memberikan peringatan dini dan mengaktifkan palang pintu untuk mengatur kendaraan yang masuk ke jembatan. Pengendalian ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan WEMOS D1 untuk memantau sensor-sensor seperti *photodiode* untuk mendeteksi

kendaraan yang melintasi jembatan, *load cell* untuk mengukur berat kendaraan, dan motor DC sebagai aktuator untuk menggerakkan palang pintu pada jembatan [9].

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 oleh Akbar Sugih Miftahul Huda, dkk berjudul "*Prototype Alat Pengukur Dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano*" bertujuan untuk merancang sebuah alat pengukur jarak *digital* di lingkungan proyek pembangunan guna mengatasi kesulitan pekerja dalam membaca titik ukur pada alat ukur manual. Hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD, sehingga diperlukan suatu alat yang mampu melakukan pengukuran dan pencatatan secara otomatis. Alat ini menggunakan sensor ultrasonik dan MPU6050 berbasis Arduino Nano [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Reza Pahlevi dan rekan pada tahun 2020 berjudul "*Sistem Monitoring Kemiringan Gedung Berbasis Resistor Variabel*". Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kemiringan gedung bertingkat menggunakan resistor variabel yang dipasang sebagai sensor. Sensor ini berupa bandul yang menghadap ke bawah untuk merespons gaya gravitasi, yang berfungsi sebagai torsi untuk mengubah resistansi resistor variabel. Resistor variabel disusun dalam rangkaian pembagi tegangan agar perubahan resistansinya dapat dibaca sebagai perubahan beda potensial oleh Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang digunakan. Perubahan resistansi dari resistor variabel bersifat linier sehingga dapat digunakan untuk mengukur perubahan sudut. Pengujian sensor dimulai dengan merangkai resistor variabel dan resistor tetap menjadi rangkaian pembagi tegangan dengan tegangan masukan sebesar 5 volt. Pada resistor variabel yang digunakan sebagai sensor, dipasang sebuah busur untuk menguji perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan dengan variasi sudut dari -90° hingga 90° dengan interval 5° [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Juanda Hartono dan Umi Khoiroh pada tahun 2021 dengan judul "Evaluasi Rencana Pemasangan Sensor *Structure Health Monitoring* Jembatan Pulau Balang II" bertujuan untuk mendapatkan informasi yang komprehensif terkait kondisi jembatan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis tipe sensor, posisi pemasangan sensor, dan jumlah sensor yang akan dipasang pada SHMS jembatan Pulau Balang sesuai dengan kebutuhan sensor yang efektif dan efisien. Evaluasi rencana pemasangan sensor SHMS dilakukan

melalui metode pengamatan langsung di lapangan dan analisis data. Jumlah sensor dan posisi pemasangan sensor yang berasal dari laporan akhir perencanaan teknis SHMS jembatan akan dievaluasi kembali menggunakan daftar *checklist* berdasarkan pengamatan langsung di lapangan dan masukan dari *stakeholder* jembatan. Penelitian ini menggunakan beberapa sensor termasuk Anemometer 2D dan 3D untuk mengukur kecepatan angin, serta *Accelerometer 2 Axis* untuk mengukur frekuensi natural dan model *shape* jembatan [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Komang Deha Abhimana Kader dan Agung Setia Budi pada tahun 2021 dengan judul “Sistem *Monitoring* Jembatan Dengan Metode *Real Time Operating System (RTOS)*” merupakan inovasi baru untuk menjalankan proses multitasking pada sistem terbenam. RTOS memperkenalkan konsep *Real Time* yang memastikan bahwa sistem menyelesaikan semua tugas sesuai dengan waktu yang ditentukan, sehingga tidak ada tugas yang terlambat melewati batas waktu yang telah ditetapkan. RTOS ini dapat diterapkan dalam berbagai bidang yang memerlukan tingkat modularitas yang tinggi, salah satunya adalah infrastruktur jembatan. Pada prototipe pemantauan jembatan ini, sensor dapat membaca beban, regangan, dan lendutan. Namun, masih ada kekurangan dalam hal akurasi karena penempatan sensor perlu dipertimbangkan untuk pengukuran beban, dan sensor ultrasonik memiliki sensitivitas pembacaan dengan jarak 1 cm, sedangkan perubahan yang terjadi di bawah satu cm. Meskipun demikian, sistem ini memiliki keunggulan dalam waktu eksekusi yang lebih cepat dalam pengambilan data [15].

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2022 oleh Syifa Amira Zahrah dkk, dengan judul “Implementasi *Support Vector Machine* Pada Alat Monitoring Kecelakaan Dengan *Intelligent Transport System*”, pada penelitian ini berfokus untuk menghasilkan suatu sistem transportasi yang cerdas dengan memanfaatkan *intelligent transportation system* menggunakan aplikasi Android dan dapat bekerja secara *real time*. Penerapan pada penelitian diletakkan pada mobil, hal tersebut dilakukan agar terdapat suatu implementasi dalam menangani sebuah keadaan darurat dengan melakukan monitoring menggunakan sensor MPU6050 sebagai pembaca getaran, sensor suara, *Global Positioning System*, *alarm panic* dan sensor lainnya. Semua sensor diuji dengan cara memiringkan alat, setelah itu sensor akan

membaca parameter yang telah ditentukan untuk melakukan pemantauan dan mengirimkan data kecelakaan ke rumah sakit terdekat. Data kecelakaan tersebut yang didapat melalui getaran, suara, kemiringan dan titik koordinat. Sensor akan membaca parameter dengan otomatis dan akan langsung memproses menggunakan *Raspberry Pi* [16].

Tabel 2.1 Perbandingan Kajian Pustaka

NO	Nama Penelitian	Komponen dan Platform	Kajian Penelitian
1	Hinawan T. Santoso	Sensor <i>accelerometer</i> , beban kendaraan.	Pada pengujian laik fungsi jembatan, sensor <i>Accelerometer</i> digunakan untuk menentukan <i>respons</i> frekuensi, sedangkan dalam penelitian yang akan dilakukan, sensor <i>accelerometer</i> dan <i>gyroscope</i> akan digunakan untuk memantau sudut kemiringan saat jembatan aktif digunakan, terkait dengan pemantauan saat jembatan sedang digunakan
2	Syufrijal	<i>NodeMCU</i> ESP8266, Arduino mega 2560, sensor ultrasonik, <i>accelerometer</i> dan <i>gyroscope</i> GY-521/ MPU 6050 dan	Pada penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler arduino mega 2560 dan ESP8266 sebagai pengirim data ke internet sebagai

NO	Nama Penelitian	Komponen dan Platform	Kajian Penelitian
		ditampilkan melalui <i>handphone</i> pada server <i>GoIoT</i>	pemantau kemiringan pada suatu lahan, sedangkan untuk penelitian yang akan dilakukan menggunakan ESP 32 dan data beban kendaraan ditampilkan pada <i>cloud server</i> , sedangkan <i>roll and pitch</i> akan ditampilkan pada LCD 16x2
3	Monica Putri Indrayati, Faqih Rofii, Isitadi	Menggunakan sensor <i>load cell</i> untuk mendapatkan data berat kendaraan dan menyimpan data pada <i>cloud database (thingspeak)</i> , <i>photodiode</i> digunakan sebagai pendeteksi kendaraan yang melintas	Pada penelitian ini menggunakan <i>load cell</i> yang ditaruh dibawah jembatan jalan raya untuk memantau beban kendaraan yang ada diatas jembatan, sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan <i>load cell</i> digunakan sebagai pemantau beban berat kendaraan sebelum kendaraan tersebut melintasi jembatan jalan raya
4	Akbar Sugih Miftahul Huda, Tjut Awaliyah	Arduino nano, ultrasonik HC-SR04, LCD 16x2, MPU-6050	Pada penelitian tersebut sensor MPU6050 dan ultrasonik digunakan

NO	Nama Penelitian	Komponen dan Platform	Kajian Penelitian
	Zuraiyah, Fajar Lukmanul Hakim		untuk mempermudah pekerja proyek dalam membaca titik ukur yang akan ditampilkan melalui LCD 16x2, sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan membaca nilai dari MPU6050 akan ditampilkan pada <i>cloud</i> . LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan sudut <i>roll and pitch</i>
5	Reza Pahlevi, Hartono, dan Farzand Abdullatif	Arduino uno, ADXL 335, LCD 16X2 dan <i>buzzer</i>	Pada penelitian tersebut menggunakan sensor ADXL335 sebagai sistem deteksi kemiringan gedung, sedangkan pada penelitian menggunakan MPU6050 karena umumnya memiliki akurasi yang tinggi serta memberikan pengukuran yang lebih presisi
6	Juandra Hartono dan Umi Khoiroh	MPU6050, Anemometer, CCTV	Pada penelitian tersebut untuk menganalisa tipe sensor, penempatan sensor dan jumlah sensor yang akan digunakan salah satunya dengan

NO	Nama Penelitian	Komponen dan Platform	Kajian Penelitian
			<p>menggunakan MPU6050 dan CCTV. Pada penelitian yang akan dilakukan sama dengan menggunakan sensor MPU6050 karena mempunyai akurat dengan fasilitas <i>hardware</i> internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya, dan menggunakan ESP32 Cam sebagai CCTV</p>
7	<p>Komang Deha Abhimana Kader dan Agung Setia Budi</p>	<p>Mikrokontroler Arduino uno, <i>load cell</i> dengan modul HX711</p>	<p>Pada penelitian tersebut menggunakan <i>load cell</i> dengan modul HX711 untuk ditaruh di ujung jembatan sebagai titik tumpu kendaraan yang akan lewat, sedangkan pada penelitian akan menggunakan <i>load cell</i> dengan modul HX711 sebagai penimbang beban muatan pada kendaraan-kendaraan sebelum melintasi jembatan jalan raya</p>
8	<p>Syifa Amira, Ade Silvia</p>	<p>Menggunakan penerapan <i>intelligent</i></p>	<p>Pada penelitian ini hanya memantau keadaan sebuah mobil saat</p>

NO	Nama Penelitian	Komponen dan Platform	Kajian Penelitian
	Hamdayani, dan Ali Nurdin	<i>transport system</i> , GPS, MPU6050	mengalami keadaan darurat atau mengalami sebuah kecelakaan, dengan bantuan sensor MPU6050 mendapatkan data sebagai data getaran, sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan sensor yang sama dan untuk memantau jembatan jalan raya

2.2 DASAR TEORI

Bagian ini akan menguraikan komponen-komponen penting yang terkandung dan digunakan untuk mengeksplorasi rumusan masalah, serta dasar teori yang akan menjadi landasan penelitian yang akan dilakukan dan dapat meningkatkan kekuatan penelitian tersebut..

2.2.1 JEMBATAN

Jembatan merupakan infrastruktur vital dalam sistem transportasi manusia, karena berfungsi sebagai penghubung antara berbagai daerah. Sesuai dengan Pasal 86 ayat (3) Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 tentang jalan, secara umum jembatan didefinisikan sebagai struktur konstruksi yang dibangun untuk memfasilitasi lalu lintas atau massa untuk melewati suatu rintangan seperti sungai, rel kereta api, atau jalan raya [17].

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, jembatan adalah jalan yang dibangun di atas tian besar. Namun, dari sudut pandang ilmiah, jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang sengaja dibangun untuk memudahkan orang dalam menyeberangi rintangan. Seiring dengan perkembangan zaman, variasi dalam jenis-

jenis jembatan pun bermacam-macam. Jembatan dapat dikelompokkan berdasarkan jenis, lokasi, material, dan strukturnya [18]. Berikut adalah beberapa jenis jembatan berdasarkan klasifikasinya:

1. Jembatan Penyeberangan

Jembatan satu ini sering ditemukan di jalanan besar yang sulit untuk diseberangi oleh pejalan kaki. Demi meminimalisir terjadinya kecelakaan, dibangunlah jembatan penyeberangan khusus untuk para pejalan kaki [18].

2. Jembatan Jalan Raya

Jembatan seperti Ampera, Suramadu termasuk ke dalam *high waybridge*. Sesuai namanya, pada jembatan ini difungsikan sebagai perlintasan untuk pengguna berbagai jenis kendaraan seperti mobil, truk, motor, bus, dsb [18].

3. Jembatan Rel Kereta Api

Pada kereta api juga terdapat jalur yang terdapat rintangan, tentunya akan membutuhkan jembatan sebagai penghubung dari jalur lajunya [18].

Konstruksi jembatan adalah bangunan pelengkap dalam sistem transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat dengan tempat lainnya, yang dapat dilintasi oleh kendaraan atau orang. Jembatan memungkinkan lalu lintas yang terputus akibat rintangan atau hambatan lainnya untuk melintasinya tanpa menutup atau menimbun rintangan tersebut. Jika jembatan terputus, maka aliran lalu lintas akan terhenti. Lalu lintas tersebut dapat berupa kendaraan bermotor, jalur kereta api, atau pejalan kaki, sedangkan rintangan dapat berupa sungai, jalan, jurang, dan sebagainya [19]. Berikut adalah beberapa bentuk dan jenis konstruksi jembatan:

1. *Suspension Bridge*

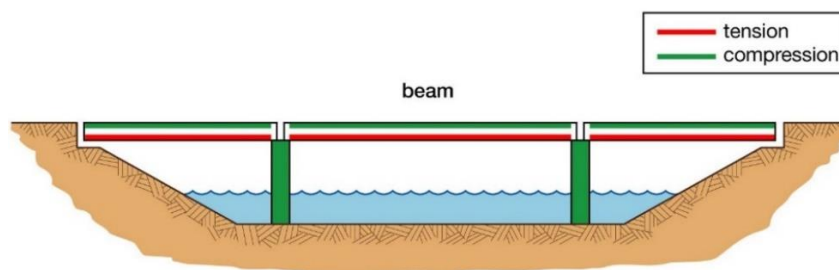
Jembatan gantung mempunyai nama lain *suspension bridge* yang dimana jembatan ini mempunyai kabel-kabel di atas untuk menopang jalannya. Kabel utama ini dihubungkan ke menara di kedua ujung jembatan dan berfungsi sebagai pemikul beban utama. Di bawah kabel utama, terdapat struktur balok yang disebut gelagar yang berfungsi sebagai penopang rantai jembatan. Jembatan ini dapat menjangkau jarak yang lebih jauh daripada bentuk jembatan lainnya dan merupakan jembatan paling mahal untuk dibangun, sebagaimana *suspension bridge* seperti Gambar 2.1 [19].



Gambar 2.1 Suspension Bridge [19]

2. *Beam Bridge*

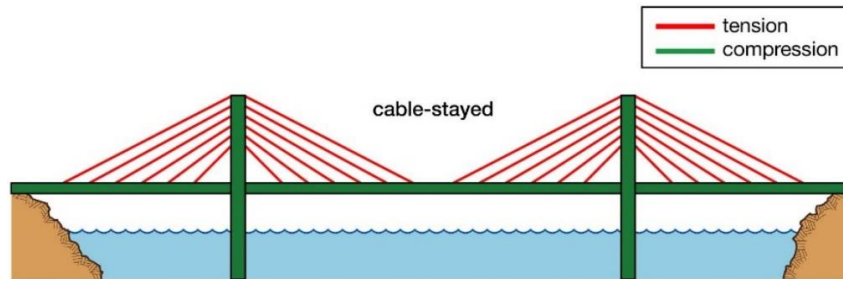
Jembatan ini berbahan dasar material beton, konstruksi jembatan sering dijumpai pada daerah yang terpisahkan oleh air, model konstruksinya sederhana di mana balok horizontal didukung di setiap ujungnya. *Beam bridge* atau pada Gambar 2.2 merupakan jembatan umum dan tertua. *Beam bridge* modern, terbuat dari baja atau beton bertulang, sering digunakan di jalan layang dan rel kereta api. Ketika sebuah jembatan terdiri dari balok-balok yang membentang di antara hanya dua penyangga, itu disebut jembatan balok sederhana. Jika dua atau lebih balok disambungkan secara kaku di atas tumpuan, jembatan menjadi menerus [19].



Gambar 2.2 Beam Bridge [19]

3. *Cable Stayed Bridge*

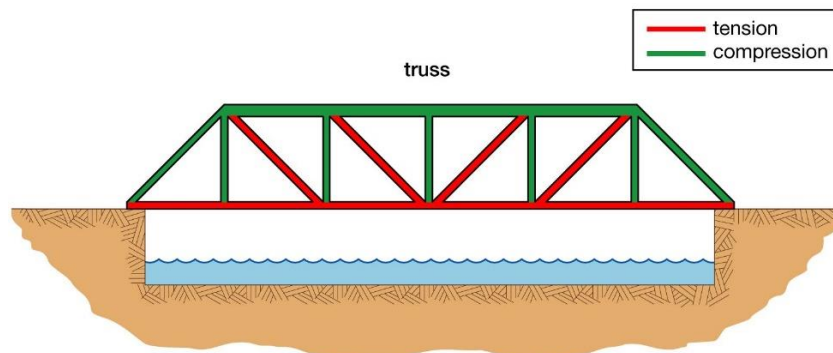
Gambar 2.3 menggambarkan jembatan *cable stayed bridge* menggunakan kabel sebagai elemen utama untuk menyangga lantai jembatan, dan titik pusat massa jembatan ini relatif rendah, membuatnya cocok digunakan di daerah dengan risiko rendah. Konstruksinya umumnya mengikuti metode kantilever, dimulai dengan tenggelamnya *caisson* dan pemasangan menara serta jangkar. Jenis jembatan ini sangat ideal untuk daerah dengan risiko gempa bumi dan angin kencang yang rendah karena memiliki kekuatan yang cukup, tahan lama, dan efisien dalam penggunaan material [19].



Gambar 2.3 Cable Stayed Bridge [19]

4. *Truss Bridge*

Truss bridge adalah jenis jembatan yang memiliki konstruksi yang lebih kokoh karena menggunakan kerangka *truss* yang berbentuk segitiga. Pada jenis jembatan ini, tidak ada penyangga di bawahnya, namun kekakuan tiang jembatan ditingkatkan karena adanya bentuk segitiga seperti Gambar 2.4 yang menghubungkan tiang satu dengan tiang lainnya. Jenis jembatan ini akan digunakan sebagai prototipe dalam penelitian ini. [19].



Gambar 2.4 Truss Bridge [19]

2.2.2 LAIK FUNGSI PADA JEMBATAN

Di Indonesia, ada kemajuan yang signifikan dalam pembangunan jembatan panjang non-standar. Ini jelas merupakan konsekuensi dari kebutuhan yang meningkat akan sarana transportasi yang efisien untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Pembangunan jembatan yang tidak memenuhi standar ini memerlukan pemahaman yang baik tentang perilaku strukturnya yang kompleks. Penyediaan, pemantauan, dan evaluasi infrastruktur jalan serta pemeliharannya ditanggung oleh Kementerian Pekerja Umum dan Perumahan Rakyat, yang diwakili oleh

Direktorat Jenderal Bina Marga. Salah satu tugas utama dan fungsinya adalah untuk memastikan bahwa jalan dan jembatan berfungsi dengan baik [12].

Setelah Penyelenggara Jalan memastikan bahwa memenuhi persyaratan laik fungsi secara administrasi dan teknik, Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan dan Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan Umum diberlakukan. Jembatan, sebagai bagian dari jalan, sangat penting untuk menghubungkan jalan. Keluaran Uji Laik Fungsi Jalan (ULFJ) adalah sertifikat yang menunjukkan seberapa layak suatu jalan untuk dioperasikan sebagai jalan umum [12].

Uji getar pada jembatan dapat digunakan untuk menguji fungsi laik jembatan. Menurut Bien dan Zwolski (2007), terdapat beberapa jenis uji getar yang umum digunakan untuk melihat dan mengevaluasi struktur jembatan, termasuk uji getaran sekitar yang menggunakan kekuatan eksitasi getaran sekitar yang pada dasarnya tidak dapat diukur dengan beban eksitasi. Getaran akibat angin dan gempa, lalu lintas normal, dan kendaraan khusus. Sedangkan *forced vibration test* adalah uji getaran yang dilakukan untuk menentukan karakteristik dinamikanya, uji ini dilakukan dengan memberikan gaya eksitasi pada struktur dan mengukur respons getarannya [12].

Konstruksi pada jembatan juga mempengaruhi keberhasilan untuk laik fungsi jembatan. Seperti yang diketahui, jembatan terdiri dari konstruksi bagian atas, bawah, dan pondasi. Konstruksi bagian atas berfungsi untuk menerima beban secara langsung, termasuk beban sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, beban pejalan kaki, dan beban lain yang berada di atas jembatan. Konstruksi bagian bawah, di sisi lain, berfungsi untuk menahan beban. Sedangkan pada bagian bawah konstruksi berfungsi untuk mendukung konstruksi *superstructure*, hal tersebut perlu diperhatikan saat pembangunan jembatan agar jembatan masuk kedalam kategori laik fungsi untuk digunakan [12].

2.2.3 BEBAN SUMBU KENDARAAN

Pada era modern, kendaraan bagaikan roda penggerak yang tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Dibuat untuk mempermudah pergerakan manusia dan barang, kendaraan menjadi jembatan penghubung antar tempat, membuka gerbang

mobilitas dan konektivitas. Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) mendefinisikan kendaraan sebagai alat angkut darat yang digerakkan oleh mesin atau tenaga manusia. Beragam jenis kendaraan telah diciptakan untuk memenuhi kebutuhan transportasi yang kian beragam, mulai dari sepeda yang gesit, mobil keluarga yang nyaman, hingga bus dan truk yang tangguh [20].

Di antara hiruk pikuk kendaraan yang melintasi jalanan, truk menonjol sebagai raksasa logistik yang memainkan peran krusial dalam menggerakkan roda ekonomi. Definisi truk tidak hanya sebatas kendaraan besar yang mengangkut barang. Lebih dari itu, truk diklasifikasikan berdasarkan kapasitas muatan, ukuran, dan jenis kargo yang diangkut. Berikut akan diberikan gambaran mengenai beberapa jenis truk yang umumnya digunakan di Indonesia [20].



Gambar 2.5 Truk *Colt Diesel Double* (CDD) [20]

Gambar 2.5 truk *Colt Diesel Double* (CDD), juga disebut truk canter, memiliki roda 6 dan dua sumbu. Karena digunakan di tempat yang lebih berat, truk ini ideal untuk mengangkut produk perkebunan atau pertambangan. Selain itu, beratnya lebih besar [20]. Berikut ini Tabel 2.2 adalah daftar kapasitas maksimum truk CDD:

Tabel 2.2 Spesifikasi Truk *Colt Diesel Double* [20]

Jenis Truk	Ukuran Karoseri	Kapasitas Muatan
Colt Diesel Double (CDD) Box	Panjang : 450 cm Lebar : 200 cm Tinggi : 200 cm	Maksimal : 5 ton Dimesin volume : 24 CBM

Jenis Truk	Ukuran Karoseri	Kapasitas Muatan
Colt Diesel Double (CDD) Bak Long	Panjang : 530 cm Lebar : 200 cm Tinggi : 200 cm	Maksimal : 6 ton Dimesin volume : 41 CBM
Colt Diesel Double (CDD) Box Reefer	Panjang : 420 cm Lebar : 200 cm Tinggi : 180 cm	Maksimal : 5 ton Dimesin volume : 24 CBM



Gambar 2.6 Truk Fuso[20]

Gambar 2.6 Truk Fuso hadir sebagai legenda kokoh yang telah mengantarkan kemajuan dan kesejahteraan selama berdekade-dekade. Lahir dari tangan terampil Mitsubishi Motors Corporation, Fuso menjelma menjadi ikon keandalan dan efisiensi, menggerakkan roda ekonomi dengan ketangguhan dan performa yang tak tertandingi. Berikut Tabel 2.3 spesifikasi ukurannya:

Tabel 2.3 Spesifikasi Truk Fuso [20]

Jenis Truk	Ukuran Karoseri	Kapasitas Muatan
Fuso Box	Panjang : 700 cm Lebar : 250 cm Tinggi : 260 cm	Maksimal : 10 ton Dimesin volume : 25 CBM
Colt Diesel Double (CDD) Bak Long	Panjang : 550 cm Lebar : 220 cm Tinggi : 220 cm	Maksimal : 8 ton Dimesin volume : 25 CBM



Gambar 2.7 Truk Tronton [20]

Di antara raksasa logistik yang mendominasi jalanan, Gambar 2.7 truk tronton menjelma menjadi primadona ekspedisi, menawarkan solusi cerdas untuk mengangkut muatan besar dengan biaya yang terjangkau. Dilengkapi dengan 3 sumbu dan 10 roda, truk ini memiliki konfigurasi unik, di mana sumbu tengah dan belakang bersentuhan atau berdekatan satu sama lain, memungkinkan manuver yang lebih fleksibel dan stabilitas yang lebih tinggi [20]. Berikut Tabel 2.4 kapasitas muatannya:






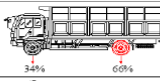
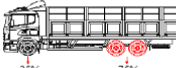
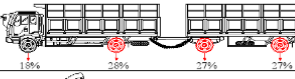
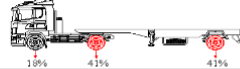

Tabel 2.4 Spesifikasi Truk Tronton [20]

Jenis Truk	Ukuran Karoseri	Kapasitas Muatan
Tronton <i>Car Carrier</i>	Panjang : 630 cm Lebar : 220 cm Tinggi : 230 cm	Maksimal : 15 ton Dimesin volume : 30 CBM
Tronton <i>Refeer</i>	Panjang : 630 cm Lebar : 220 cm Tinggi : 230 cm	Maksimal : 10 ton Dimesin volume : 25 CBM

Beban sumbu kendaraan adalah gaya vertikal yang dihasilkan oleh roda kendaraan pada permukaan jalan. Beban ini dinyatakan dalam satuan berat, seperti kilogram (kg) atau ton (t). Berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kerusakan jalan termasuk beban sumbu kendaraan. Semakin besar beban sumbu, semakin besar pula kerusakan yang ditimbulkan pada jalan. Hal ini dikarenakan beban sumbu yang tinggi dapat menyebabkan deformasi permanen pada struktur jalan, seperti retak, lubang, dan penurunan permukaan jembatan [21].

Umur rencana perkerasan jalan adalah jumlah repetisi beban lalu lintas dalam satuan *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL). Sebaliknya, beban berlebih, juga dikenal sebagai *overloading*, adalah kondisi di mana beban gandar kendaraan melebihi beban standar yang digunakan pada asumsi desain perkerasan jalan atau jumlah lintasan operasional sebelum umur rencana tercapai. Karena jalan terbebani melebihi kapasitasnya, kerusakan jalan akan lebih cepat terjadi [21].

Kendaraan memiliki minimal dua sumbu. Sumbu depan disebut sumbu kendali dan sumbu belakang disebut sumbu penahan beban. Namun, selama masa pelayanan jalan atau selama kendaraan berjalan, beban kendaraan dilimpahkan melalui rodanya. Setiap kendaraan memiliki letak titik berat yang unik, tergantung pada jenisnya, yang digunakan untuk mendistribusikan beban ke masing-masing sumbunya. Akibatnya, pola distribusi beban untuk setiap jenis kendaraan berbeda. Karena beban sumbu kendaraan sangat memengaruhi keselamatan pengguna jalan, sangat penting untuk mematuhi peraturan yang membatasi beban sumbu kendaraan dan mengambil tindakan untuk mengurangi beban sumbu kendaraan. Distribusi beban sumbu dari berbagai jenis kendaraan digambarkan pada Gambar 2.8 [21].

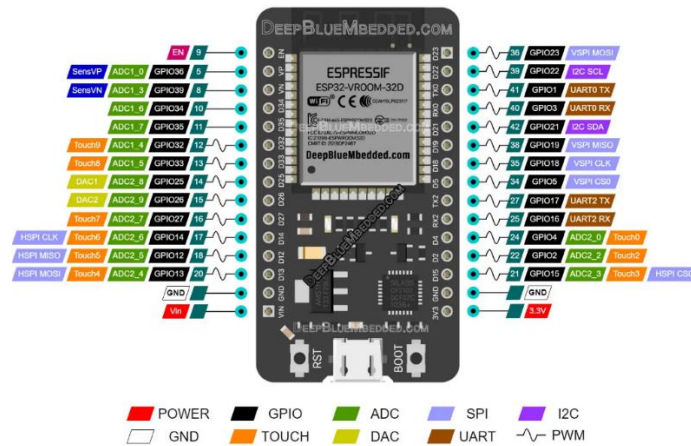
KONFIGURASI BEBAN SUMBU						
KONFIGURASIMBU DAN TPE	BEBAK KOSONG (TON)	BEBAN MUATAN MAKSIMUM (TON)	BEBAK TOTAL MAKSIMUM (TON)	LE 18 KESAL KOSONG	LE 18 KESAL MAKSIMUM	 Roda Tunggal pada Ujung Sumbu  Roda Ganda pada Ujung Sumbu
1.1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1.2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1.2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1.2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1.22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1.2 + 2.2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1.2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1.2-2.2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

Gambar 2.8 Distribusi Beban Sumbu dari Berbagai Jenis Kendaraan [21]

Muatan berlebih dapat menyebabkan faktor kerusakan kendaraan (VDF) meningkat jika kendaraan mengangkut lebih banyak muatan daripada batas maksimum yang diizinkan. VDF adalah indikator kerusakan kendaraan akibat beban. Muatan berlebih mempercepat keausan komponen kendaraan seperti ban, mesin, rem, dan suspensi. Muatan berlebih membuat kendaraan lebih berat dan sulit dikendalikan, hal ini dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar yang lebih boros, pengereman yang kurang efektif dan *handling* yang buruk. Perencanaan perkerasan jalan mengacu pada kondisi kendaraan dengan muatan normal atau standar, sehingga dapat memperpendek masa pelayanan jalan. Kelebihan muatan yang terjadi pada suatu kendaraan akan mengurangi masa umur dari jembatan atau suatu jalan yang dilintasi oleh kendaraan bermuatan tersebut, penting untuk mematuhi peraturan pembatasan beban kendaraan dan tidak membawa muatan yang melebihi batas yang diizinkan [21].

2.2.4 ESP 32

ESP 32 adalah sistem daya hemat biaya untuk mikrokontroler chip dengan mode *wifi* dan *bluetooth* ganda. Espressif, perusahaan yang berbasis di Shanghai, China, membuat mikrokontroler yang disebut ESP 32. Dengan prosesor dual core yang berjalan di bawah instruksi Xtensa LX16, ESP 32 menawarkan solusi jaringan *wifi* yang mandiri dan berfungsi sebagai jembatan antara mikrokontroler yang sudah ada dan jaringan *wifi* [22]. Karena memiliki *interface* yang lengkap dan memiliki *wifi* yang sudah tertanam di dalamnya, ESP 32 sangat cocok untuk digunakan pada alat pemantau kemiringan jembatan. Tegangan pengoperasian ESP 32 berkisar antara 2.2 hingga 3.6V, yang digunakan oleh mikrokontroler ini untuk menghubungkan semua sensor. ESP 32 memberikan daya pada *chip* pada tingkat 3.3V saat beroperasi secara normal, pada Gambar 2.9 menggambarkan Pin *out* ESP 32.



Gambar 2.9 Pin Out ESP 32 [22]

Perangkat keras UART terletak di dalam mikrokontroler dan digunakan untuk melakukan komunikasi data serial. Ini terdiri dari tiga bagian, atau blok besar: transmitter, penerima, dan *clock*. Bagian transmitter mengirimkan data melalui pin TX, dan bagian penerima mengirimkan data melalui pin RX. *Blok clock generator* bertanggung jawab atas pengaturan kecepatan transfer data. Protokol komunikasi data serial UART adalah yang ideal untuk menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan sensor seperti MPU6050 [22].

Tabel 2.5 Spesifikasi ESP 32 [22]

INFO	SPEKIFIKASI
Tegangan	3.3 Volt
<i>Processor</i>	Tensilica L108 32 bit
Kecepatan Prosesor	Dual 160 MHz
RAM	520K
GPIO	34
ADC	7
Dukungan 802.11	11b/g/n/e/i
<i>Bluetooth</i>	BLE (<i>Bluetooth Low Energy</i>)
SPI	3
I2C	2
UART	3

2.2.5 GPIO ESP 32

Pada ESP32, GPIO (*General Purpose Input/Output Interface*) menyediakan 38 pin yang dapat diatur sebagai *input* dan *output*. Pin-pin ini memberikan fleksibilitas untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator, membuatnya ideal untuk aplikasi pemantauan kemiringan jembatan. Namun, perlu diperhatikan bahwa *development board* ESP32 tidak dapat mengakses semua pin GPIO ESP 32. Beberapa pin digunakan untuk fungsi internal, seperti komunikasi serial dan *clock*. Oleh karena itu, penting untuk merujuk pada dokumentasi resmi ESP32 untuk mengetahui pin mana yang tersedia untuk penggunaan umum sebagaimana diagramnya diilustrasikan seperti (Gambar 2.6) [23].

GPIO 34 hingga 39 hanya digunakan sebagai *input*, dan mereka tidak memiliki pull-up internal atau pull-down resistor di pin ini. Beberapa *development board* ESP 32 dapat mengakses GPIO 6 hingga GPIO 11. ESP 32 juga memiliki sepuluh sensor sentuh kapasitif yang dapat mendeteksi benda apa pun yang menyimpan muatan listrik. Terdapat pin-pin untuk melakukan komunikasi seperti komunikasi SPI, UART, I2C dan terdapat 18 kanal ADC dan 2 kanal DAC [23].

2.2.6 ADC PADA ESP 32

Alat elektronik yang disebut *Analog Digital Converter* (ADC) dapat mengubah sinyal *analog* menjadi data *digital*. *Analog Digital Converter* dapat ditemukan terintegrasi dalam mikrokontroler atau hadir sebagai IC khusus. Fungsinya adalah untuk mengukur dan membaca tegangan *analog* dari berbagai sumber, seperti sensor. Banyak parameter dan variabel di dunia nyata yang bersifat *analog*, seperti suhu, cahaya, tekanan, dan sebagainya. Sensor elektronik yang digunakan untuk menangkap informasi ini juga menghasilkan sinyal *analog*. Dalam sistem pemantauan jembatan, data *analog* ini perlu diubah menjadi data *digital* agar dapat diproses dan dianalisis oleh mikrokontroler [24].

Analog Digital Converter bekerja dengan cara mengambil sampel sinyal *analog* secara berkala dan kemudian mengubahnya menjadi nilai *digital*. Proses ini melibatkan beberapa langkah seperti sampling ADC mengambil sampel sinyal *analog* pada interval waktu tertentu, kuantisasi ADC membagi nilai tegangan

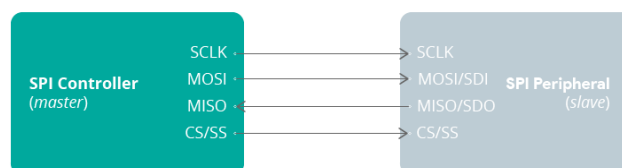
analog menjadi beberapa level diskrit, pengkodean ADC mengkonversi setiap level diskrit menjadi nilai biner (0 atau 1) [24].

ESP 32 dilengkapi dengan dua *periferal* perangkat keras ADC (*Analog to Digital Converter*) 12-Bit SAR (*Successive Approximation Register*) yang mumpuni. *Periferal* ini memungkinkan ESP 32 untuk membaca nilai dari 18 saluran *input analog* yang berbeda. Kapasitas tinggi ESP 32 memiliki dua ADC dengan total 18 saluran *input analog*, memberikan fleksibilitas untuk menghubungkan berbagai sensor dan perangkat *analog*. Resolusi tinggi setiap ADC memiliki resolusi 12-bit, memungkinkan pembacaan nilai *analog* dengan presisi tinggi [24].

Dengan dua ADC 12-Bit SAR yang mumpuni, ESP 32 menawarkan solusi yang ideal untuk aplikasi yang membutuhkan pembacaan sinyal *analog* yang presisi dan andal. Dukungan API *driver firmware* yang komprehensif dan berbagai mode operasi memungkinkan integrasi ADC yang mudah dan fleksibel dalam berbagai aplikasi. Masing-masing ADC ESP 32 memiliki unit pengontrol logikanya sendiri. Unit kontrol mendukung setiap ADC untuk beroperasi dalam beberapa mode untuk mencapai tujuan desain tertentu (performa tinggi atau konsumsi daya rendah) [24].

2.2.7 KOMUNIKASI SPI ESP 32

ESP 32 dilengkapi dengan dukungan untuk berbagai protokol komunikasi seperti pada Gambar 2.10 komunikasi SPI *master* dan *slave*, salah satunya adalah *Serial Peripheral Interface* (SPI). SPI merupakan protokol komunikasi jarak pendek yang umum digunakan dalam perangkat mikrokontroler, termasuk ESP 32. Dalam komunikasi SPI, selalu ada pengontrol (disebut sebagai *master*) dan yang mengontrol perangkat *periferal* (disebut *slave*). Data dapat dikirim dan diterima secara bersamaan. Ini berarti bahwa *master* dapat mengirimkan data ke seorang *slave*, dan *slave* dapat mengirimkan data ke master pada saat bersamaan [25].

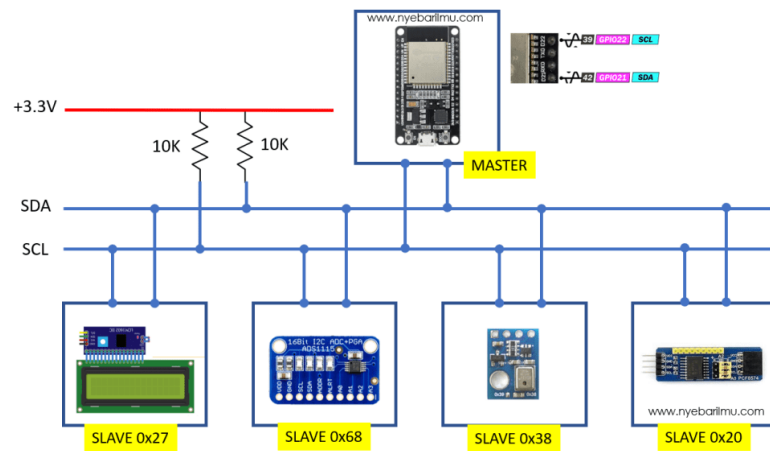


Gambar 2.10 Komunikasi SPI Master dan Slave [25]

Hanya satu yang dapat menjadi master, tetapi dapat memiliki banyak slave berupa Sensor, display, microSD dll. Atau mikrokontroler lainnya yang berarti dapat menghubungkan ESP32 ke beberapa sensor, tetapi sensor yang sama tidak dapat dihubungkan ke beberapa board ESP 32 secara bersamaan. Komunikasi SPI adalah protokol komunikasi kabel yang digunakan oleh mikrokontroler ESP 32 untuk bertukar data antara beberapa perangkat sebagai *slave*. ESP 32 SPI mendukung dua bus yang berbeda untuk komunikasi masing-masing bus mengendalikan 3 perangkat *slave*. Secara *default*, ESP32 hadir dengan pin SPI [25].

2.2.8 KOMUNIKASI I2C ESP 32

Inter-integrated Circuit (I2C) adalah protokol komunikasi *multi-master* dan *multi-slave* yang sinkron. Ini memungkinkan beberapa slave terhubung ke satu master, seperti melakukan pembacaan sensor dan menampilkannya pada layar LCD 16x2 I2C, seperti contoh pada Gambar 2.11 contoh komunikasi I2C pada ESP 32 [26].



Gambar 2.11 Contoh Komunikasi I2C Pada ESP 32 [26]

Agar dapat berbagi informasi, protokol komunikasi I2C menggunakan dua kabel. SDA (Serial Data) digunakan untuk mengirim dan menerima data, dan SCL (Serial Clock) digunakan untuk sinyal *clock*. Jalur SDA dan SCL biasanya aktif rendah, jadi untuk menjaga data yang dikirim aman, Anda harus melakukan pull up menggunakan resistor. Perangkat 5V biasanya memiliki 10k Ohm dan perangkat 3.3V 2,4k Ohm [26].

2.2.9 PULSE WIDTH MODULATION (PWM) ESP32

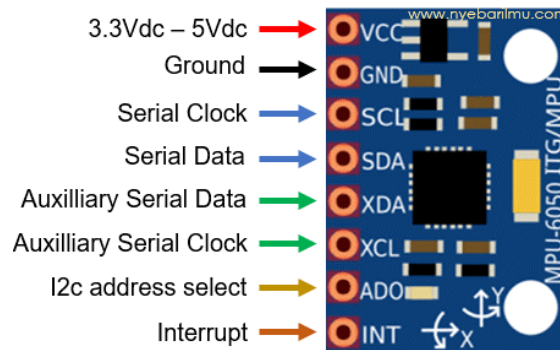
ESP 32 memiliki pengontrol LED PWM dengan enam belas saluran terpisah yang dapat diatur untuk menghasilkan sinyal PWM dengan berbagai fitur. PWM secara umum adalah teknik untuk mengubah lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa selama periode waktu untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, dan aplikasi lainnya adalah beberapa contoh penggunaan PWM [27].

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah metode umum untuk mengubah lebar sinyal pulsa gelombang elektronik dalam suatu periode. PWM adalah sinyal *analog* dengan amplitudo dan frekuensi dasar tetap, yang berubah hanya pada lebar sinyal pulsa. *Duty cycle*-nya berkisar antara nol persen dan seratus persen tergantung pada kecepatan yang diinginkan, dengan persentase yang lebih besar meningkatkan kecepatan perputaran motor [27].

2.2.10 SENSOR GYROSCOPE DAN ACCELEROMETER MPU6050

Sensor MPU6050 adalah kombinasi *accelerometer* dan *gyroscope*, pada modul sensor ini di *package* ke dalam satu modul yang dapat terhubung atau kompatibel dengan mikrokontroler Arduino. Modul MPU6050 ini memiliki enam *axis motion tracking* dimana perangkat ini mengkombinasikan tiga *axis gyroscope*, tiga *axis accelerometer* dan sebuah DMP (*Digital Motion Processor*). Sensor ini menggunakan I2C untuk berkomunikasi, *Inter Integrated* adalah protokol komunikasi yang memungkinkan beberapa perangkat untuk terhubung ke satu bus. *Circuit* adalah protokol. *Gyroscope* mengukur seberapa cepat objek berputar ($^{\circ}/s$) dalam tiga sumbu (*pitch*, *roll*, dan *yaw*). *Pitch* adalah kemiringan ke atas atau ke bawah, *roll* adalah kemiringan ke kiri atau ke kanan, dan *yaw* adalah rotasi di sekitar sumbu vertikal. Akselerometer mengukur seberapa cepat objek bergerak ($^{\circ}/s^2$) dalam tiga sumbu (x, y, dan z), ini juga dapat mengukur percepatan seperti gravitasi dan dinamis. MPU6050 dapat mengukur percepatan hingga 1g ($9,8 \text{ m/s}^2$) dan kemiringan hingga 180° . Data dari sensor dikeluarkan dalam format *digital* 16-bit

dan dapat diakses melalui I2C. MPU6050 mampu menerima *input* dari tiga *axis compass* untuk memberikan *output motion fusion* yang lengkap [28].

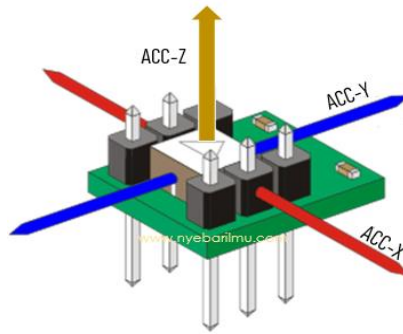


Gambar 2.12 Pin Out Modul MPU6050 [28]

Penggunaan proyek elektronika pada modul sensor MPU6050 ini memungkinkannya berfungsi sebagai gimbale atau *stabilizer* dengan menggunakan pin *out* seperti Gambar 2.12, kamera yang membutuhkan fungsi keseimbangan dan akselerasi. Contoh tambahan dapat diterapkan pada pemutar musik di mana Anda hanya perlu menggoyangkan handphone untuk mengubah lagu berikutnya atau, lebih sederhananya, pada tampilan layar handphone yang semula vertical dapat berubah menjadi horizontal untuk tujuan lain seperti menonton video. MPU6050 adalah sensor multifungsi yang dapat mengukur orientasi dan gerakan objek. Dengan dua sensor utama (akselerometer dan giroskop), sensor ini berkomunikasi menggunakan I2C dan dapat mengukur percepatan hingga 1g dan kemiringan hingga 180°. Spesifikasi MPU6050 ditampilkan pada Tabel 2.6 [28].

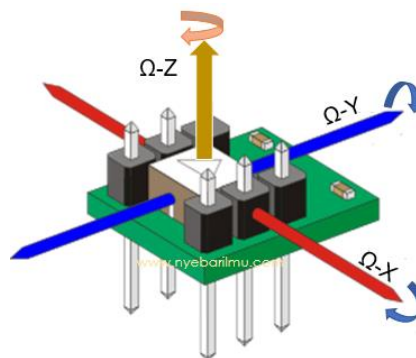
Tabel 2.6 Spesifikasi Modul Sensor MPU6050 [28]

Info	Spesifikasi
Tegangan Operasional	3Vdc – 5Vdc
Komunikasi I2C	SCL, SDA
<i>Range</i> dari <i>Gyroscope</i>	250, 500 1000, 2000/s
<i>Chip built-in</i>	16-bit AD <i>converter</i> , 16-bit data <i>output</i>
Fungsi	<i>Accelerometer</i> dan <i>Gyroscope</i>
Ukuran Modul	2.2cm x 1.7cm



Gambar 2.13 Accelerometer Sensing Axis Orientation [28]

Accelerometer lebih sering digunakan untuk mengukur sudut kemiringan (*tilt*), serta prinsip kerjanya, yaitu menggunakan prinsip percepatan (*acc*). Pengukuran dinamis mengukur percepatan objek yang bergerak, sedangkan pengukuran statis mengukur percepatan objek terhadap gravitasi bumi, contoh cara kerjanya seperti pada Gambar 2.13 [28].



Gambar 2.14 Gyroscope Sensing Axis Orientation [28]

Dengan bertumpu pada roda yang bergerak seperti pada Gambar 2.14 dengan cepat pada sumbu yang didasarkan pada momentum sudut, *gyroscope* mempunyai fungsi dan dapat menentukan orientasi gerak. Untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi, *gyro* sensor harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan bandul sebelum digunakan. *Gyroscope* menghasilkan kecepatan sudut dari tiga sumbu: sumbu x adalah sudut *phi* (kanan dan kiri), sumbu y adalah sudut *theta* (atas dan bawah), dan sumbu z adalah sudut *psi* (depan dan belakang) [28].

Sudut *Roll* dan *Pitch* adalah dua dari tiga sudut orientasi yang digunakan untuk menggambarkan rotasi suatu objek di ruang tiga dimensi. Sudut ketiga adalah Sudut *Yaw*. Sudut *Roll* menggambarkan kemiringan objek ke kiri atau ke kanan.

Sudut roll positif menunjukkan kemiringan ke kanan, sedangkan sudut roll negatif menunjukkan kemiringan ke kiri. Nilai sudut roll berkisar antara -180° hingga 180° , dengan 0° menunjukkan bahwa objek berada dalam posisi horizontal. Sudut *Pitch* menggambarkan kemiringan objek ke atas atau ke bawah. Sudut *pitch* positif menunjukkan kemiringan ke atas, sedangkan sudut *pitch* negatif menunjukkan kemiringan ke bawah. Nilai sudut *pitch* berkisar antara -90° hingga 90° , dengan 0° menunjukkan bahwa objek berada dalam posisi datar. MPU6050 adalah sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang dilengkapi dengan giroskop dan akselerometer. Giroskop mengukur kecepatan sudut rotasi objek, sedangkan akselerometer mengukur percepatan linear objek. Data dari kedua sensor ini dapat digabungkan untuk menghitung sudut *roll* dan *pitch* [29]. Menggunakan rumus sebagai berikut:

$$roll = \text{atan2}(\text{accY}, \text{accZ}) * 180.0 / M_PI; \quad (2.1)$$

$$pitch = \text{atan}(-\text{accX} / \sqrt{\text{accY} * \text{accY} + \text{accZ} * \text{accZ}}) * 180.0 / M_PI; \quad (2.2)$$

Penjelasan mengenai rumus sudut roll adalah sebagai berikut:

- a. $\text{atan2}(\text{accY}, \text{accZ})$ menghitung sudut antara sumbu z dan proyeksi vektor percepatan ($\text{accX}, \text{accY}, \text{accZ}$) pada bidang xz.
- b. $180.0 / M_PI$ mengkonversi radian ke derajat.

Sudut roll menunjukkan kemiringan objek ke kiri atau ke kanan. Sudut *roll* positif menunjukkan kemiringan ke kanan, sedangkan sudut roll negatif menunjukkan kemiringan ke kiri.

Penjelasan mengenai sudut *pitch* adalah sebagai berikut:

- a. $-\text{accX} / \sqrt{\text{accY} * \text{accY} + \text{accZ} * \text{accZ}}$ menghitung proyeksi vektor percepatan ($\text{accX}, \text{accY}, \text{accZ}$) pada sumbu x.
- b. $\text{atan}(-\text{accX} / \sqrt{\text{accY} * \text{accY} + \text{accZ} * \text{accZ}})$ menghitung sudut antara sumbu x dan proyeksi vektor percepatan pada bidang xy.
- c. $180.0 / M_PI$ mengkonversi radian ke derajat.

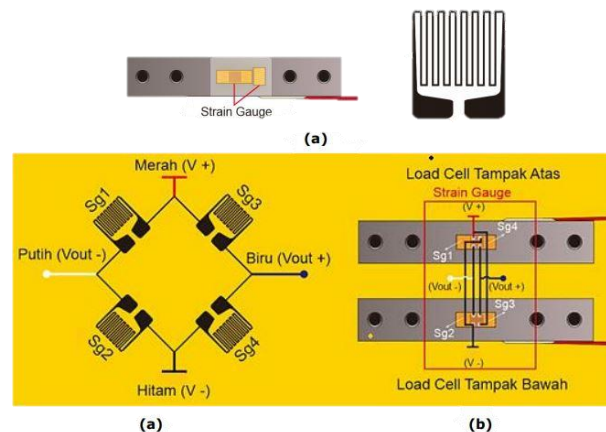
Sudut *pitch* menunjukkan kemiringan objek ke atas atau ke bawah. Sudut *pitch* positif menunjukkan kemiringan ke atas, sedangkan sudut *pitch* negatif menunjukkan kemiringan ke bawah. Rumus yang digunakan berdasarkan prinsip ; ketika objek berada dalam posisi horizontal, proyeksi vektor percepatan pada

sumbu x dan y akan sama dengan nol, dan proyeksi vektor percepatan pada sumbu z akan sama dengan percepatan gravitasi (g). Ketika objek dimiringkan, proyeksi vektor percepatan pada sumbu x dan y akan menjadi nol-nol, dan proyeksi vektor percepatan pada sumbu z akan berkurang [29]. Dengan menggunakan prinsip ini, rumus dapat menghitung sudut *roll* dan *pitch* dari data akselerometer.

2.2.11 SENSOR LOAD CELL DAN MODUL HX711

Salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengubah ukuran beban menjadi tegangan listrik adalah sensor sel beban. Ada bagian elektronika yang disebut *Strain Gauge* di sensor beban sel, yang digunakan untuk mengukur deformasi dan *strain*. Lebih mudahnya, alat ini mengukur tekanan. Rangkaian jembatan *wheatstone* yang terdiri dari empat resistor yang dirangkai dengan jenis rangkaian kombinasi paralel dan seri diubah oleh pengukur tekanan [30].

Transduser yang digunakan untuk menghasilkan sinyal listrik yang besarnya proporsional dengan kekuatan dikenal sebagai *load cell*. *Load cell* yang digunakan adalah *strain gauge* karena memiliki karakteristik pengukuran yang sangat akurat dan linier, kecil pengaruh terhadap perubahan suhu dan masa operasional yang lama karena kurangnya bagian yang menimbulkan gesekan [30].



Gambar 2.15 (a) Pengukur Tekanan Penggerak Sensor (b) Pengukur Tekanan dalam Wheatstone Bridge [30]

Strain Gauge terletak di dalam sel seperti pada Gambar 2.15 pengukur beban dan berfungsi untuk mengukur tekanan berdasarkan hasil pembacaan beban. Teorinya adalah bahwa ketika tekanan pada benda berubah, foil atau kawat akan

terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini dimasukkan ke dalam rangkaian jembatan wheatstone untuk mengetahui berapa besar tahanan pada strain gauge [30].

Sebagai transduser, sel beban menghasilkan sinyal listrik yang besarnya berbanding lurus dengan kekuatan yang diukur. Nilai listrik yang dikalibrasi beban yang ditempatkan pada sel beban dihasilkan dari perubahan dalam resistansi pengukur tegangan, yang mengubah hambatan listrik dalam jumlah yang sebanding dengan regangan. Sebuah pemuat sel biasanya terdiri dari empat strain pengukur dalam konfigurasi jembatan *wheatstone*. Anda juga dapat memuat sel dari satu strain pengukur (seperempat jembatan) atau dua pengukur regangan (setengah jembatan). *Output* sinyal listrik biasanya beberapa millivolt (mV) [30].



Gambar 2.16 Modul Amplifier HX711 [30]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16, modul amplifier HX711 adalah modul elektronik yang berfungsi sebagai penguat sinyal untuk *strain gauge load cell* sensor. Prinsip kerja modul ini adalah mengukur perubahan perubahan resistansi dan kemudian mengubahnya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. Modul menggunakan protokol TTL 232 untuk berkomunikasi dengan komputer atau mikrokontroler mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan Tabel 2.7 dibawah ini. Strukturnya sederhana dan mudah digunakan, hasilnya stabil dan dapat diandalkan, dan sensitivitasnya tinggi sehingga dapat mengukur perubahan dengan cepat [30].

Tabel 2.7 Spesifikasi Modul Amplifier HX711 (28)

INFO	SPESIFIKASI
<i>Differential Input Voltage</i>	±40 mV
<i>Data Accuracy</i>	24 bit

INFO	SPESIFIKASI
<i>Refresh Frequency</i>	80 Hz
<i>Operating Voltage</i>	5V DC
<i>Operating Current</i>	<10 mA
Size	38mm x 21mm x 10mm

2.2.12 METODOLOGI PENGUKURAN BERAT DENGAN *LOAD CELL*

Metodologi pengukuran berat menggunakan *load cell* merupakan aspek krusial dalam aplikasi sensor ini di berbagai industri. *Load cell* adalah perangkat transduser yang mengubah gaya, tekanan, atau massa menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan dianalisis. Dalam sub bab ini, akan dijelaskan secara mendetail mengenai prinsip kerja, komponen utama, serta proses konversi yang terjadi sehingga *load cell* dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat dan reliabel. Pemahaman yang komprehensif tentang metodologi ini akan memberikan dasar yang kuat dalam mengaplikasikan teknologi *load cell* pada berbagai keperluan pengukuran berat [30]. *Load cell* dan HX711 mengkonversi berat benda menjadi satuan berat (gram).

1. Prinsip Dasar *Load Cell*

1.1 *Strain Gauge*

Load cell menggunakan *strain gauge* sebagai elemen pengukur utama. *Strain gauge* adalah sensor yang mengukur perubahan regangan (*strain*) pada material. Ketika material mengalami deformasi akibat adanya beban, resistansi listrik pada *strain gauge* berubah.

1.2 Konfigurasi Jembatan *Wheatstone*

Strain gauge biasanya dihubungkan dalam konfigurasi jembatan *Wheatstone* untuk mengukur perubahan resistansi. Jembatan *wheatstone* mengubah perubahan resistansi. Jembatan *wheatstone* mengubah perubahan resistansi kecil pada *strain gauge* menjadi perubahan tegangan yang dapat diukur.

2. Mekanisme Pengukuran Berat

2.1 Deformasi Material

Ketika beban ditempatkan pada *load cell*, material di dalam *load cell* mengalami deformasi atau regangan. *Strain gauge* yang terpasang pada material tersebut ikut terdeformasi, mengakibatkan perubahan resistansi listrik.

2.2 Perubahan Resistansi

Perubahan Resistansi pada *strain gauge* menyebabkan perubahan tegangan pada keluaran jembatan *Wheatstone*. Tegangan ini proporsional terhadap beban yang diterapkan.

3. Penguatan dan Konversi Sinyal oleh HX711

3.1 Penguatan Sinyal

Sinyal tegangan yang dihasilkan oleh jembatan *Wheatstone* sangat kecil dan memerlukan penguatan sebelum dapat dikonversi menjadi data *digital*. Modul HX711 memiliki penguat diferensial yang dapat memperkuat sinyal ini hingga ratusan kali lipat.

3.2 Konversi *Analog* ke *Digital*

Setelah sinyal diperkuat, HX711 mengkonversi sinyal tegangan analog menjadi sinyal *digital* menggunakan ADC (*Analog-to-Digital Converter*) 24-bit. Konversi ini memungkinkan mikrokontroler untuk membaca nilai *digital* yang mewakili tegangan yang dihasilkan oleh *load cell*.

4. Kalibrasi *Load Cell*

4.1 Proses Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan objek dengan berat yang diketahui. Pembacaan mentah dari sensor saat objek ini ditempatkan pada *load cell* digunakan untuk menghitung kalibrasi.

4.2 Menghitung *Calibration Factor*

Kalibrasi dihitung dengan membagi pembacaan mentah dari sensor dengan berat objek yang diketahui. Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{Calibratio\ Factor} = \frac{\mathbf{Sensor\ Reading\ Result}}{\mathbf{Weight\ of\ Object\ For_Calibration}} \quad (2.3)$$

Metode *get_units()* yang digunakan dalam pustaka HX711 untuk Arduino dan mikrokontroler lainnya adalah bagian dari cara kerja modul HX711 untuk membaca dan mengkonversi sinyal dari *load cell* menjadi satuan berat yang dapat dipahami seperti gram atau ons [30]. Metode tersebut berfungsi untuk membaca

nilai digital yang dihasilkan oleh HX711 dan mengkonversi nilai tersebut menjadi satuan berat yang berguna (misalnya gram) dengan menggunakan faktor kalibrasi yang telah ditentukan. Metode *get_units()* biasanya bekerja dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membaca Nilai Mentah: HX711 membaca sinyal dari *load cell* dan mengkonversinya menjadi nilai *digital* mentah.
2. Rata-rata Pembacaan: Metode ini seringkali mengambil rata-rata dari beberapa pembacaan untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi *noise*.
3. Kalibrasi dan Konversi: Nilai mentah kemudian dikonversi menjadi satuan berat menggunakan faktor kalibrasi yang telah dihitung sebelumnya.

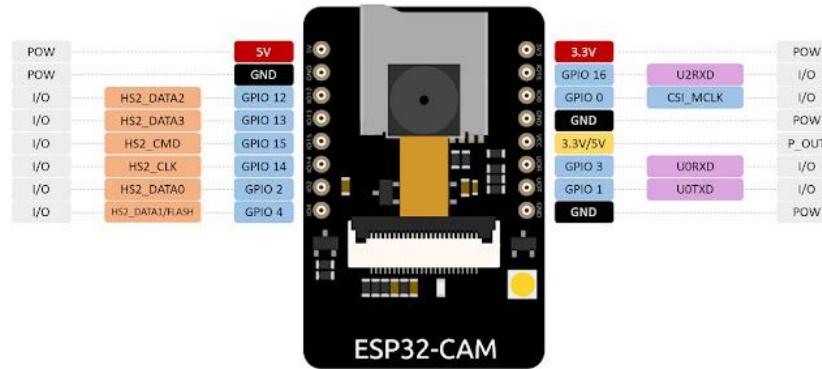
Metode *get_units()* ini adalah metode yang disediakan oleh pustaka HX711 untuk memudahkan pengguna dalam mengkonversi pembacaan mentah dari *load cell* menjadi satuan berat yang bermakna. Proses penggunaan *load cell* dan HX711 mencakup beberapa langkah: kalibrasi, pengaturan skala, dan pembacaan berat. Metode *get_units()* adalah bagian dari langkah pembacaan berat yang telah dikalibrasi. Jadi, metode *get_units()* adalah bagian integral dari cara menggunakan *load cell* dengan modul HX711, membantu dalam mengkonversi sinyal dari *load cell* menjadi satuan berat yang dapat dimengerti seperti gram [30].

2.2.13 ESP 32 CAM

ESP 32 Cam adalah mikrokontroler pengembangan ESP 32 yang ukurannya kecil dan memiliki kamera *on-board*. Dilengkapi dengan *wifi* dan *bluetooth*, modul ini sangat cocok untuk aplikasi IoT, perangkat rumah pintar, dan lainnya. *Software IDE* Arduino dapat digunakan untuk mengupload program dan dibutuhkan modul-modul serial to usb yang *compatible*, karena modul ini tidak memiliki *built-in uploader* [31].

Modul ESP 32 Cam dirilis oleh *Espressif Systems* pada tahun 2016, mikrokontroler ini kuat dengan didukung oleh sebuah *chip*. Yang dibuat berdasarkan teknologi TSMC 40nm. ESP 32 dilengkapi dengan prosesor *dual-core* 32 bit, dengan *clock* 80, 160 atau 240 Mhz. Mikrokontroler memiliki kabel khusus untuk menghubungkan kamera OV 2640, dan slot kartu memori untuk menyimpan gambar dengan format JPEG. Modul ini diperlukan adaptor UART ke USB.

Kamera OV 264 memberikan kemampuan untuk memperoleh dan menganalisis gambar objek yang ada di dalam ruangan, berkat mikrokontroler yang bekerja dengan protokol tingkat rendah, berikut Gambar 2.17 merupakan spesifikasi ESP 32 Cam [31].



Gambar 2.17 ESP 32 Cam GPIO PINOUT [29]

Modul ESP 32 Cam mempunyai sensor kamera yaitu OV2640 yang merupakan sensor SOC (*System on Chip*) yang memiliki ISP *on-chip* dapat melakukan *auto-exposure*, *auto-white balance* dalam paket sensor sekecil itu untuk mempresentasikan gambar yang bagus. Antarmuka sensor adalah DVP yang mempunyai standar untuk *port video digital*, sejenis antarmuka kamera sinkronisasi sumber paralel dengan data 8 bit, sinyal sinkronisasi horizontal atau vertikal dan *associated pixel clock* [31].

Fitur paling penting dari OV2640 adalah perangkat keras pembuat JPEG *encoder*, yang mengurangi daya pemrosesan dan mengurangi penggunaan jejak memori dari mikrokontroler. Gambar yang dihasilkan berformat 1600x1200 RGB565/YUV biasa menempati ruang RAM 3.66 MB, sementara format JPEG gambar yang layak sama hanya menempati 150KB, rasio kompresi hampir x25. Dengan resolusi gambar yang lebih rendah atau rasio kompresi yang lebih tinggi, ukuran gambar JPEG keluaran akan lebih kecil, yang dapat dengan mudah disimpan dan diproses dalam memori RAM internal mikrokontroler karena mempunyai spesifikasi seperti pada Tabel 2.8 dibawah ini [31].

Tabel 2.8 Spesifikasi ESP 32 CAM [31]

INFO	SPESIFIKASI
<i>Microprocessor</i>	CPU LX6 32-bit
Rentang Catu Daya	5V
<i>Port IO</i>	8
RAM	520KB
<i>Wifi</i>	802.11 b/ g/ n
Format Keluaran Gambar	JPEG

2.2.14 MOTOR SERVO

Motor servo adalah perangkat penggerak yang dilengkapi dengan sistem kontrol kalang tertutup. Sistem ini mengontrol gerakan dan posisi akhir poros motor servo dengan memantau dan menyesuaikan gerakannya secara terus menerus. Kontrol *input* mendeteksi posisi poros untuk memastikan apakah posisi poros sudah tepat. Jika tidak, kontrol *input* mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tepat sesuai yang diinginkan. Sinyal kendali kemudian digunakan untuk menggerakkan motor servo ke arah yang diinginkan. Paling pintu akan menggunakan motor servo SG90, yang tampilan dan spesifikasinya akan ditunjukkan pada Gambar 2.18 di bawah ini [32].



Gambar 2.18 Tampilan Motor Servo SG60 [32]

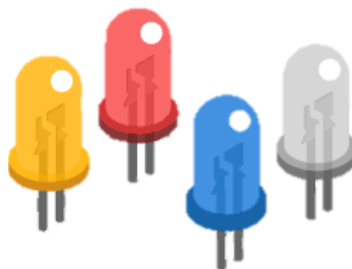
Motor servo memiliki kemampuan kerja dua arah dan bekerja dengan sistem *close feedback*, yang berarti posisi motor servo diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalamnya. Sistem *close feedback* motor servo terdiri dari sebuah motor, rangkaian gear potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer motor biasanya berfungsi sebagai penentu batas sudut putaran motor servo, dan motor servo biasanya hanya bergerak pada sudut tertentu, Tabel 2.9 menggambarkan spesifikasi motor servo [32].

Tabel 2.9 Spesifikasi Motor Servo SG60 [32]

INFO	SPESIFIKASI
Dimensi	22.2 x 11.8 x 31mm
Berat	9 gr
<i>Stall Torque</i>	1.8 kgf.cm
Kecepatan Operasi	0.1 s/60 derajat
Tegangan Operasi	4.8 V (~5V)
<i>Dead Band Width</i>	10 μ s
Rentang Suhu	0°C - 55 °C

2.2.15 LIGHT EMITTING DIODE (LED)

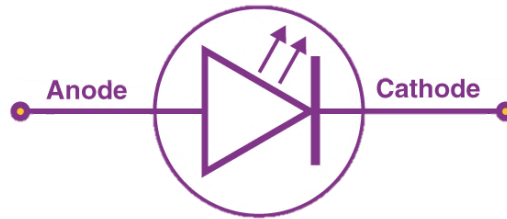
LED seperti pada Gambar 2.19 adalah bagian dari dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Arus mengalir melalui LED ke depan dan memblokir arus ke arah sebaliknya. Sebuah dioda listrik (LED) tidak memerlukan pembakaran filamen untuk menghasilkan cahaya, jadi saat dibias maju, mereka juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak dapat dilihat langsung menggunakan mata penerapan. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang dapat ditemukan pada remot TV atau perangkat elektronik lainnya [33].



Gambar 2.19 Light Emitting Diode [33]

LED (*Light Emitting Diode*) memiliki bentuk yang mirip dengan bola lampu atau bohlam juga mempunyai simbol seperti pada Gambar 2.20 dan dapat dimasukkan ke berbagai perangkat elektronik karena tidak memerlukan pembakaran filamen untuk menghasilkan cahaya, yang berarti mereka tidak menimbulkan panas saat menghasilkan cahaya. LED adalah salah satu inovasi yang

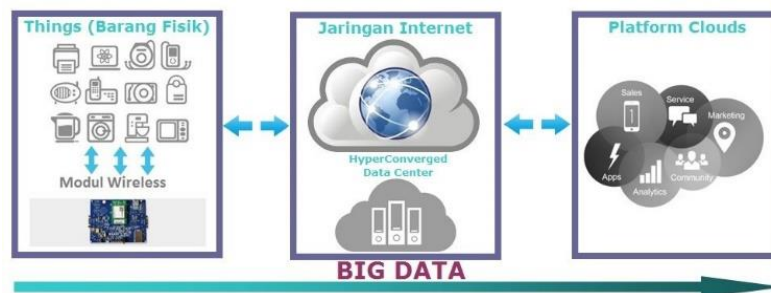
paling efisien dalam penggunaan cahaya karena mereka mengkonsumsi lebih sedikit daya daripada bohlam atau bola lampu [33].



Gambar 2.20 Simbol *Light Emitting Diode* [33]

2.2.16 *INTERNET of THINGS (IoT)*

Teknologi yang dikenal sebagai "*Internet of Things*" melibatkan perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan data tanpa perlu terhubung dengan manusia, menggunakan *internet* sebagai medianya untuk melakukannya. Singkatnya, manusia tidak perlu mengontrol objek atau perangkat *Internet of Things* tersebut dari jarak jauh. Konsep *Internet of Things* ini akan sangat membantu perkembangan big data di Indonesia saat ini dan di masa mendatang. Ini bekerja dengan cara pemrograman, di mana tiap perintah pemrograman dapat menghasilkan interaksi antar mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan di mana pun [34].



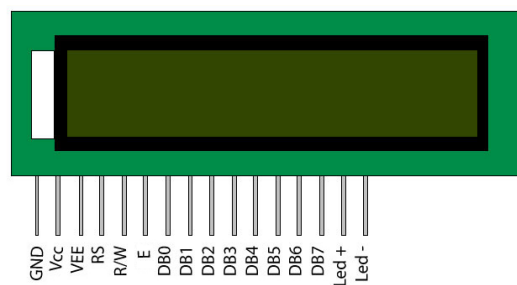
Gambar 2.21 Konsep Dasar *Internet of Things* [34]

Dari Gambar 2.21 dapat dilihat mengenai konsep dasar *Internet of Things* (IoT) adalah bahwa semua barang yang terhubung ke internet akan menyimpan data. Data ini dikumpulkan dalam bentuk big data, yang dapat diolah oleh praktisi, ilmuwan, pemerintah, dan perusahaan untuk kemudian digunakan untuk kepentingan masing-masing. Dengan kata lain, IOT dapat diartikan sebagai suatu

objek yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan data melalui jaringan tanpa menggunakan sumber daya *internet*. Salah satu tantangan terbesar dalam mengkonfigurasi *Internet of Things* adalah mengatur jaringan komunikasinya; komponen IoT termasuk perangkat berukuran kecil, sensor, konektivitas, kecerdasan buatan, dan keterlibatan aktif [34].

2.2.17 *Liquid Crystal Display (LCD) 16x2*

Display Liquid Crystal adalah modul tampilan yang memiliki beragam kegunaan. Layar LCD 16x2 adalah modul yang sangat mendasar digunakan dalam banyak perangkat dan sirkuit berbeda karena pada dasarnya mudah untuk diprogram, dan tidak memiliki batasan dalam menampilkan karakter, animasi dan konten lainnya yang tidak biasa dan bahkan dapat disesuaikan. Dengan LCD 16x2 terdapat dua baris yang masing-masing dapat menampilkan 16 karakter. Setiap karakter pada LCD ini disajikan menggunakan matriks 5x7 piksel. Register perintah menyimpan instruksi yang dikirim ke LCD. Perintah adalah instruksi yang diberikan kepada LCD untuk melakukan operasi tertentu, seperti menghidupkan LCD, membersihkan layar, mengatur kursor, mengatur tampilan, dan lain sebagainya [35].



Gambar 2.22 *Liquid Crystal Display* [35]

Beberapa pin yang terdapat seperti pada Gambar 2.22 mempunyai fungsinya tersendiri, seperti pada pin GND dan Vcc (+5 V) adalah pin catu daya. Pin VEE digunakan untuk mengatur kontras tampilan, potensiometer juga dapat digunakan untuk mengatur lampu latar layar. Pin RS adalah pin kontrol yang menentukan apakah IR atau DR harus dihubungkan ke Bus Data (pin DB0 ke DB7), ketika RS *low*, IR di pilih dan DB7-DB0 diperlukan sebagai kode instruksi.

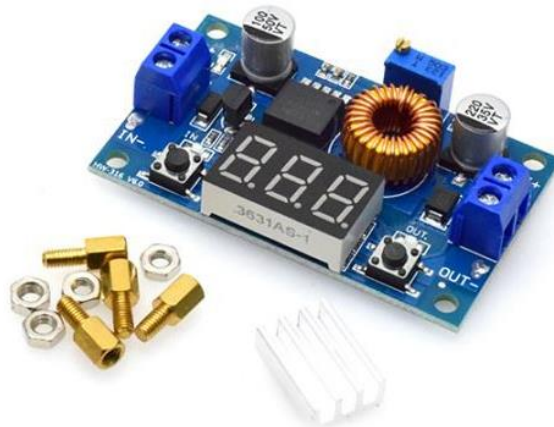
Misalnya, kode instruksi dapat mewakili perintah “*display clear*”. Ketika RS bernilai *high*, DR di pilih dan DB7-DB0 dapat menjadi kode untuk mewakili karakter seperti “a”. Pada pin R/W menentukan apakah kita menulis ke modul (R/W=0) atau membaca dari modul (R/W=1), sedangkan Pin E (untuk “aktifkan”) memulai operasi baca atau tulis [35].

Piksel warna atau monokrom dalam jumlah berapapun dapat ditemukan di dalam LCD, yaitu perangkat layar datar kecil yang disusun di depan sumber cahaya atau reflektor. Kolom molekul kristal cair tersuspensi di antara dua elektroda transparan, dua filter polarisasi dengan sumbu polarisasi tegak lurus, dan kolom molekul kristal cair membentuk setiap piksel. Cahaya yang mengalir melalui salah satu cahaya akan terhalang oleh cahaya lainnya tanpa adanya *liquid crystal* yang memisahkannya. Untuk memungkinkan cahaya mengalir melalui filter lainnya, kristal cair memutar polarisasi cahaya yang memasuki filter pertama, penggunaannya adalah untuk menampilkan data dari MPU6050 [35].

2.2.18 DC Chopper Adjustable Step-Down

DC Chopper atau *Pulse Width Modulation (PWM) Chopper* merupakan perangkat elektronik yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi tegangan DC ke tegangan DC lainnya dengan mengatur *duty cycle* (durasi pulsa) dari tegangan *input*. DC Chopper banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, seperti kontrol motor, pengaturan daya, dan konversi energi. Berbeda dengan rangkaian pembagi tegangan konvensional, DC Chopper menawarkan solusi yang lebih efisien dan hemat energi untuk mengatur tegangan DC [36].

Memiliki manfaat seperti efisiensi tinggi karena dapat mencapai efisiensi yang tinggi, yaitu lebih dari 90% dalam beberapa kasus, mempunyai ukuran yang kecil sehingga mudah dipasang di berbagai perangkat serta memiliki kemampuan *output* yang stabil sehingga menghasilkan berbagai tegangan *output* yang stabil dengan *riak* yang rendah [36].



Gambar 2.23 Tampilan DC Chopper Adjustable Step-Down [36]

Penggunaannya adalah untuk mengaktifkan ESP 32 Cam, karena membutuhkan tegangan 5V untuk beroperasi. DC Chopper seperti pada Gambar 2.23 nantinya akan mengubah tegangan DC 9V dari baterai menjadi 5V yang dibutuhkan oleh ESP32 Cam. Cara kerjanya adalah dengan mengatur *duty cycle chopper* sehingga tegangan *output* rata-rata adalah 5V. Induktor dan kapasitor digunakan untuk menyaring riak tegan dan menjaga tegangan *output* tetap stabil [36].