

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada tahun 2018, dilakukan sebuah penelitian oleh Fernando Florentinus dan Budi Setiawan dengan judul jurnal tertentu “Pengukuran Kekuatan Kontraksi Otot Pada Bagian Torso Tubuh Menggunakan Sensor Elektromiografi” didapat bahwa penggunaan sensor elektromiografi (EMG) dan mikrokontroler dapat digunakan untuk mengukur kontraksi otot pada berbagai bagian tubuh manusia. Sistem akuisisi sinyal EMG dapat mendeteksi dan memperkuat sinyal otot dengan baik, dan program yang digunakan untuk memproses sinyal efektif dalam menampilkan hasil pengukuran pada layar LCD. Namun, perbedaan postur dan lemak tubuh dapat memengaruhi akurasi pengukuran. Tujuan penelitian ini adalah untuk menciptakan perangkat yang dapat mendeteksi tingkat kontraksi otot untuk membantu mencegah cedera otot dan tegang. Berbagai sumber digunakan dalam pengembangan sistem ini, termasuk makalah konferensi, artikel jurnal, dan lembar data [4].

Pada tahun 2018, dilakukan penelitian oleh Firdhan Tri Abyanto dan Florentinus Budi Setiawan yang berjudul "Deteksi Kejenuhan Seluruh Otot Manusia Menggunakan Sensor EMG Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO". Penelitian ini melibatkan pengukuran pada sepuluh titik otot yang berbeda pada satu individu yang sama, dan menghasilkan variasi tegangan otot yang terukur. Untuk memperkuat sinyal, digunakan rangkaian AD620AN sebagai penguat dalam aplikasi EMG, dan juga komparator TL062. Hasil sampel yang diperoleh menunjukkan bahwa tegangan keluaran saat otot berada dalam keadaan relaksasi adalah sebesar 100 mV, sedangkan saat otot berada dalam keadaan kontraksi, tegangannya mencapai 5000 mV [3].

Johanes Christo Adi Purnama dan Florentinus Budi Setiawan pada tahun 2018 pada jurnalnya melakukan penelitian dengan judul “Pembacaan Sinyal Otot Pada Wajah Dan Sekitar Kepala Menggunakan Sensor Elektromiografi”. Hasil

pengukuran bervariasi karena adanya variasi dalam lapisan lemak dan kekuatan otot pada setiap titik. Selain itu, sinyal yang dihasilkan oleh otot juga berbeda-beda pada setiap individu. Bahkan otot-otot pada wajah mampu menghasilkan sinyal yang dapat diperkuat menggunakan sensor Elektromiografi, meskipun sinyal yang dihasilkan tidak sekuat otot pada tangan dan kaki, tetapi tetap dapat terdeteksi dengan baik [5].

Pada tahun 2018, dilakukan penelitian oleh Nico Hendrawan Santoso dan Florentinus Budi Setiawan dengan judul "Pembacaan Sinyal Otot pada Bagian Kepala Menggunakan Sensor Elektromiografi (EMG) dan Scilab". Rangkaian penguat sinyal pada pengukuran otot wajah berfungsi secara efektif untuk memperkuat sinyal otot sebelum diproses menggunakan aplikasi *Scilab*. Proses pengolahan suara dari sinyal otot yang telah direkam melalui program *Scilab* berjalan dengan baik. Hasil pengukuran otot wajah yang telah diperkuat melalui elektromiografi terekam dengan jelas. Perbedaan nilai yang terjadi dalam proses pengukuran disebabkan oleh variasi tingkat ketebalan lemak dan kekuatan pada otot-otot manusia [6].

Pada tahun 2018, dilakukan penelitian oleh Hans Yandi Gunawan dan Florentinus Budi Setiawan dengan judul "Perancangan Penampil Grafik Sinyal Ketegangan Otot Perut Dengan Menggunakan Sensor Elektromiografi". Jumlah data yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh kuantitas lemak yang terdapat dalam lapisan kulit. Jika data yang diperoleh lebih sedikit, maka nilai Indeks Massa Tubuh (IMT) akan cenderung tinggi karena adanya akumulasi lemak yang mempengaruhi proses perolehan data [7].

Pada tahun 2020, Nabilah Ashriyah, Tri Arief Sardjono, dan Mohammad Nuh melakukan penelitian dengan judul "Pengembangan Instrumentasi dan Analisis Sinyal EMG pada Otot Leher". Penelitian ini berfokus pada analisis sinyal EMG dari otot leher, khususnya pada otot *sternocleidomastoid* saat berbicara. Sinyal tersebut memiliki *amplitudo* yang sangat rendah dan berhasil diukur dengan akurat menggunakan instrumentasi EMG yang dirancang dengan total penguatan lebih dari 2000x. Otot *sternocleidomastoid* termasuk dalam kelompok otot leher *nonlaryngeal*. Berdasarkan hasil rekaman, terdapat korelasi antara proses pembentukan suara saat berbicara dengan *amplitudo* sinyal EMG yang dihasilkan.

Untuk mendeteksi wicara, digunakan metode kalkulasi *envelope* sinyal EMG dengan menerapkan *low-pass filter* dan *thresholding* dengan menggunakan dua nilai *threshold*, yaitu *onset* dan *offset*. Penggunaan *onset threshold* berhasil mendeteksi wicara sekitar 0.2 ms sebelum wicara terjadi. Namun, *offset threshold* yang ditentukan dalam penelitian ini belum dapat mendeteksi berhentinya wicara dengan baik, karena wicara terdeteksi berhenti lebih cepat sekitar 0.12 ms dari waktu sebenarnya. Penggunaan *threshold* adaptif mungkin dapat memperbaiki hal ini. Selain untuk mengidentifikasi wicara, *envelope* sinyal EMG juga memiliki hubungan dengan *pitch* atau tinggi rendahnya suara yang dihasilkan. Suara dengan *pitch* tinggi akan menghasilkan *amplitudo* maksimum yang lebih rendah pada *envelope* sinyal EMG, sedangkan suara dengan *pitch* rendah akan menghasilkan *amplitudo* maksimum yang lebih tinggi pada *envelope* sinyal EMG. Hubungan antara pembentukan suara dan aktivitas listrik otot leher *nonlaryngeal* ini membuka kemungkinan penggunaan sinyal EMG pada leher sebagai kontrol untuk *electrolarynx* dimasa depan [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Rizki Multajam, Mada Sanjaya, Aceng Sambas, Nurul Subkhi, dan Imamal Muttaqien berjudul "Desain dan Analisis *Electromyography* (EMG) serta Aplikasinya dalam Mendeteksi Sinyal Otot". Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa tubuh manusia menghasilkan aktivitas listrik dalam berbagai kegiatan, baik di otak, otot, maupun jantung. Setiap kegiatan tersebut memiliki frekuensi yang berbeda, dan frekuensi ini dapat terdeteksi melalui elektroda yang ditempatkan pada kulit. Eksperimen dengan menggunakan rangkaian EMG menghasilkan variasi frekuensi dari setiap gerakan yang dilakukan oleh otot tangan. EMG memiliki banyak fungsi, termasuk dalam deteksi penyakit yang terkait dengan sistem saraf manusia dan sebagai kontrol untuk mengendalikan perangkat. Berikut adalah hasil rata-rata pengukuran *amplitudo* setelah melewati rangkaian *electromyography* (EMG):

- Ketika dalam keadaan santai: 2,63880 Volt
- Ketika tangan mengepal: 2,25289 Volt
- Ketika tangan membuka: 1,6381 Volt
- Ketika tangan kanan membuka dan tangan kiri mengepal: 1,16864 Volt
- Ketika tangan kanan mengepal dan tangan kiri membuka: 1,23486 Volt

Terlihat bahwa amplitudo ketika tangan berada di bawah memiliki nilai lebih besar daripada ketika tangan berada di atas. Hal ini menyebabkan nilai *amplitudo* ketika tangan dalam keadaan santai lebih besar dalam penelitian ini [9].

Pada tahun 2020, dilakukan penelitian oleh Vincentius Ivan dan Faisal Wahab dengan judul jurnal "Pendeteksian Sinyal Otot Lengan Manusia Menggunakan Sensor Otot EMG Berbasis Arduino Uno". Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor EMG merespons tegangan yang dihasilkan dari pergerakan otot lengan. Namun, sensor tidak mampu merespons perbedaan saat otot lengan mengangkat beban benda yang berbeda. Tidak ditemukan perbedaan signifikan dalam tegangan sinyal yang dihasilkan saat lengan mengangkat beban benda, dengan hasil tegangan di bawah 3 volt [10].

Pada tahun 2021, Falahul Fadli dan Agit Amrullah melakukan penelitian dengan judul "Perancangan Monitoring Sinyal *Electromyography* (EMG) Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Metode *Waterfall*". Dari hasil pengujian, sistem pemantauan sinyal EMG yang dikendalikan melalui NodeMCU dan ditampilkan melalui *platform Ubidots* telah berhasil dirancang dengan baik. Sensor V3 mampu membaca tegangan sinyal yang dikirim melalui NodeMCU dengan akurat, sehingga memungkinkan untuk melakukan pengukuran sinyal tegangan pada otot lengan. Selain itu, alat ini juga sukses menyimpan data rekam digital pasien yang dapat dikirim melalui *email* pengguna [11].

Pada penelitian ini akan menggunakan otot lengan atas dan otot betis sebagai objek penelitian seperti pada literatur [10], dengan memakai NodeMCU sebagai mikrokontroler pada alat yang akan dibuat serupa dengan literatur [11], dan untuk menampilkan hasil keluaran dari pengujian pada penelitian ini digunakan *platform blynk* IoT, selain untuk menampilkan keluaran hasil dari pengujian pada *platform* ini juga rekam data digital disimpan.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Otot

Jaringan merupakan kelompok sel-sel yang memiliki keserupaan dalam bentuk dan fungsi. Tubuh manusia memiliki empat kelompok jaringan dasar,

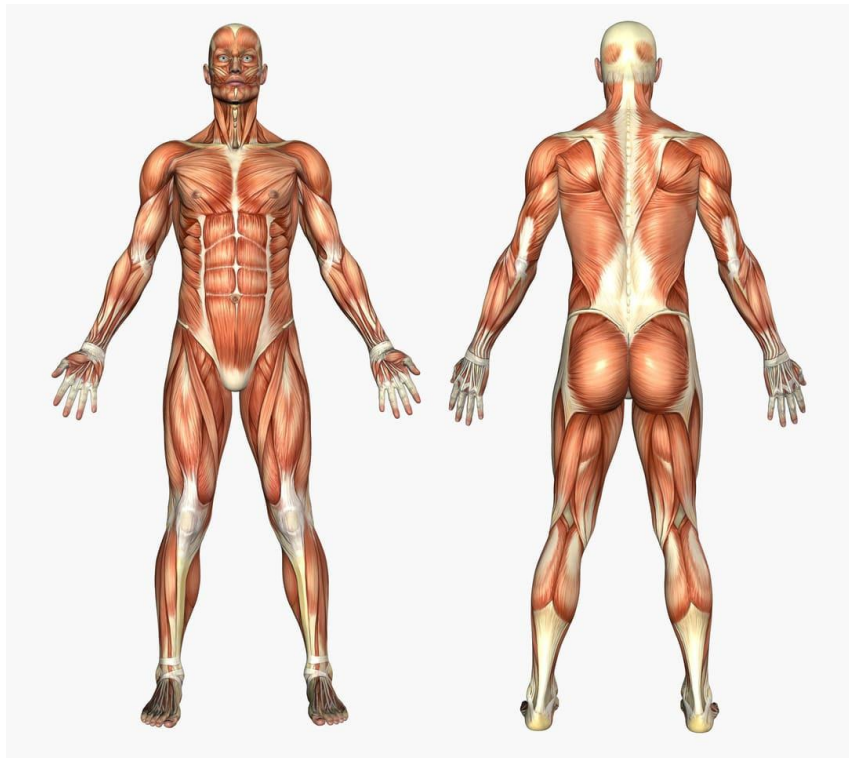
termasuk jaringan otot atau jaringan muskulus. Otot adalah jenis jaringan yang memiliki kemampuan khusus untuk berkontraksi, sehingga memungkinkan tubuh untuk melakukan gerakan dan aktivitas fisik [12].

Jaringan merupakan kumpulan sel-sel yang memiliki bentuk dan fungsi serupa. Dalam tubuh manusia, terdapat empat kelompok jaringan dasar, salah satunya adalah jaringan otot atau jaringan muskulus. Otot adalah tipe jaringan yang memiliki kemampuan khusus untuk melakukan kontraksi, yaitu kemampuan untuk memendek dan mengencang secara aktif. Kemampuan kontraksi inilah yang memungkinkan otot untuk menghasilkan gerakan pada tubuh manusia. Ketika otot menerima sinyal dari sistem saraf untuk berkontraksi, filamen-filamen protein di dalam serat otot akan berinteraksi dan menghasilkan gaya tarik yang menyebabkan serat otot memendek. Proses inilah yang menyebabkan gerakan pada tubuh manusia, baik gerakan yang besar seperti berjalan, berlari, atau mengangkat benda berat, maupun gerakan yang halus seperti menggerakkan jari-jari atau kelopak mata [12].

Kemampuan otot untuk berkontraksi dan berelaksasi merupakan hasil dari kerja kompleks dari berbagai elemen seluler, seperti protein aktin dan miosin, serta ion-ion seperti kalsium dan natrium. Proses ini terjadi secara otomatis dan terkoordinasi dengan baik oleh sistem saraf dan hormon dalam tubuh. Oleh karena itu, penelitian dan pemahaman yang mendalam tentang jaringan otot dan mekanisme kontraksi-relaksasi sangat penting untuk meningkatkan pemahaman tentang gerakan tubuh manusia dan memperbaiki perawatan medis terkait masalah otot, seperti cedera atau gangguan *neuromuskular* [13].

Miologi merupakan istilah yang merujuk pada kajian tentang otot. Otot-otot kerangka termasuk dalam salah satu dari empat kelompok jaringan utama dalam tubuh. Otot-otot ini berhubungan dengan tulang, tulang rawan, ligamen, dan kulit, baik yang terletak di bawah kulit dan datar, maupun yang ada di anggota gerak yang lebih panjang, seperti yang terilustrasikan pada gambar 2.1 dibawah ini. Otot-otot kerangka sering dinamai berdasarkan bentuknya, seperti *deltoid*; berdasarkan arah serat-serat ototnya, seperti *rektus abdominis*; atau berdasarkan posisi otot tersebut, seperti *pektoralis mayor*. Nama otot juga bisa menggambarkan fungsinya, seperti *flexor* (penggerak fleksi) dan *extensor* (penggerak ekstensi), dan sebagainya. Otot-

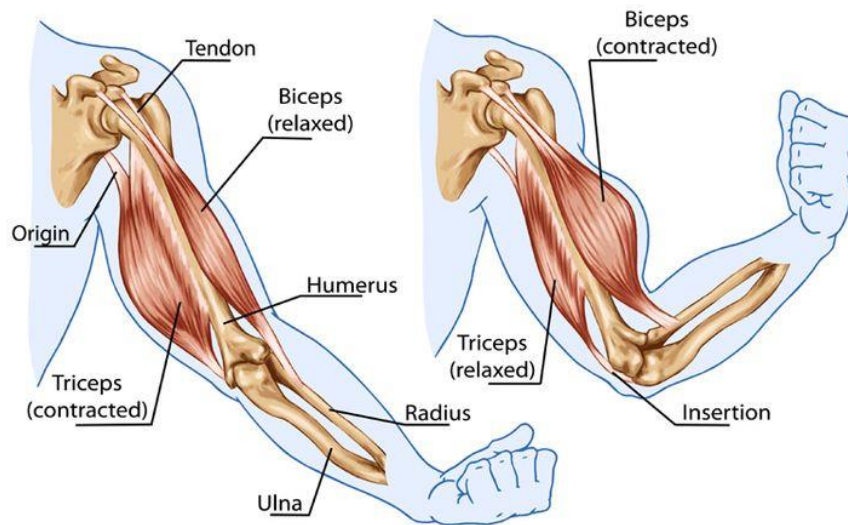
otot kerangka umumnya memiliki dua tempat terhubung, yakni tempat kuat yang disebut *origo* (asal), dan tempat yang lebih *mobile* yang disebut *insersio*. *Origo* berfungsi sebagai titik awal dari otot, sedangkan *insersio* adalah titik di mana otot berakhir atau berjalan. *Insersio* merupakan struktur yang dapat dijangkau atau digerakkan oleh otot tersebut [13].



Gambar 2.1 Ilustrasi Otot Manusia [14]

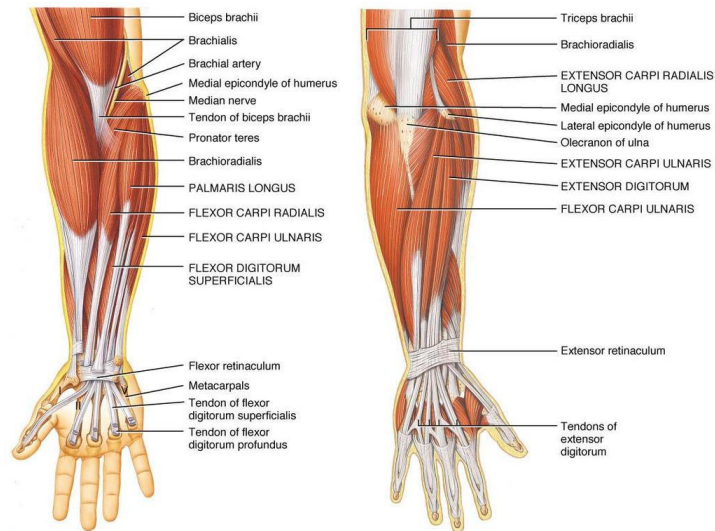
Meskipun kebanyakan otot hanya mampu menggerakkan salah satu dari dua tempat tersebut, beberapa otot bisa menggerakkan keduanya. Oleh karena itu, *origo* dan *insersio* bisa saling bertukar fungsi. Sebagai contoh, otot *biceps* timbul dari skapula dan berjalan ke bawah lengan untuk berinsersio pada radius. Pada kasus ini, skapula menjadi tempat yang lebih stabil, sementara radius menjadi tempat yang bergerak akibat aksi *biceps*. Namun, ketika kedua tangan memegang sebuah batang horisontal dan tubuh ditarik ke atas sejajar dengan lengan, *biceps* akan membantu gerakan ini, sehingga otot ini bekerja dengan *origo* dan *insersio* yang terbalik. Radius menjadi titik yang lebih kuat untuk mengait, sedangkan skapula menjadi titik yang lebih banyak bergerak dalam konteks tersebut, sehingga memungkinkan gerakan terjadi [15].

Otot kerangka bekerja secara bersama-sama dalam kelompok-kelompok untuk melakukan gerakan pada berbagai bagian tubuh. Setiap kelompok otot memiliki pasangan otot antagonis yang berlawanan dengan tugasnya. Misalnya, *flexor* adalah pasangan antagonis dari *extensor*, dan abduktor adalah pasangan antagonis dari adduktor. Beberapa kelompok otot juga berfungsi untuk menstabilkan bagian-bagian anggota tubuh saat bagian lain bergerak, disebut sebagai otot *fixasi* [15].



Gambar 2.2 Struktur Otot Lengan Atas [15]

Retikulum adalah komponen padat dari fasia (jaringan ikat) yang berfungsi untuk menyangga dan menahan tendon-tendon yang melewati pergelangan tangan dan mata kaki. Struktur ini merupakan bagian penting dalam sistem *muskuloskeletal* manusia, yang mendukung gerakan koordinatif dan lancar pada area tersebut. Tendon-tendon yang melewati pergelangan tangan dan mata kaki menghubungkan otot-otot pada lengan dan tungkai dengan tulang, memungkinkan pergerakan tangan dan kaki dengan presisi dan kekuatan yang tepat [14]. Sebagai contoh yang diilustrasikan pada gambar 2.2 diatas yang menggambarkan gerakan relaksasi dan kontraksi pada otot lengan atas, yang dimana Ketika otot *biceps* dalam kondisi kontraksi maka otot *triceps* akan dalam keadaan relaksasi. Begitupun sebaliknya, ketika otot *biceps* dalam keadaan relaksasi maka otot *triceps* akan dalam keadaan kontraksi.



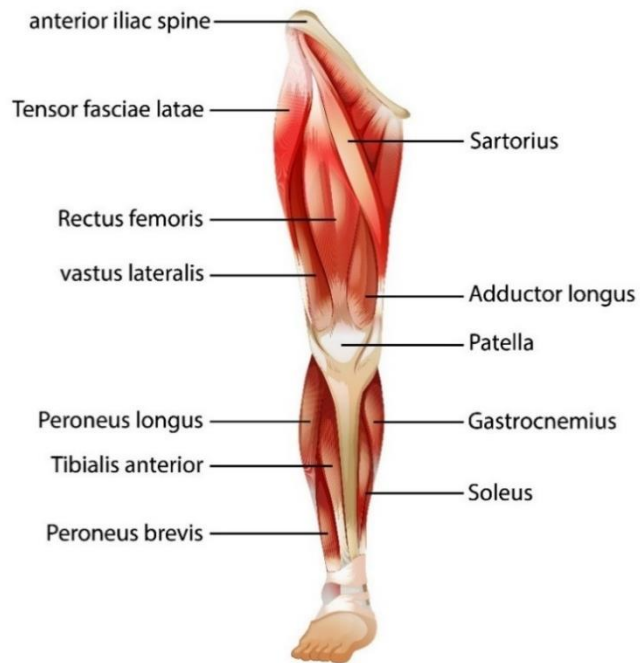
Gambar 2.3 Struktur Otot Lengan Bawah [14]

Gambar 2.3 diatas menggambarkan struktur otot lengan bawah. Otot lengan bawah, atau otot *antebrachii*, adalah kelompok otot diantara siku dan pergelangan tangan yang berperan dalam berbagai gerakan tangan dan pergelangan tangan. Ini mencakup otot *fleksor* yang menekuk pergelangan tangan dan jari, serta otot ekstensor yang meluruskan pergelangan tangan dan jari. Otot pronator dan supinator memungkinkan rotasi lengan bawah untuk menghadap telapak tangan ke atas atau bawah. Selain itu, otot *brachioradialis* memungkinkan fleksi dan ekstensi pada siku dan pergelangan tangan, sedangkan otot *palmaris longus* membantu menegangkan kulit di dalam pergelangan tangan saat menggenggam. Fungsi ini penting untuk aktivitas sehari-hari dan kemampuan motorik halus.

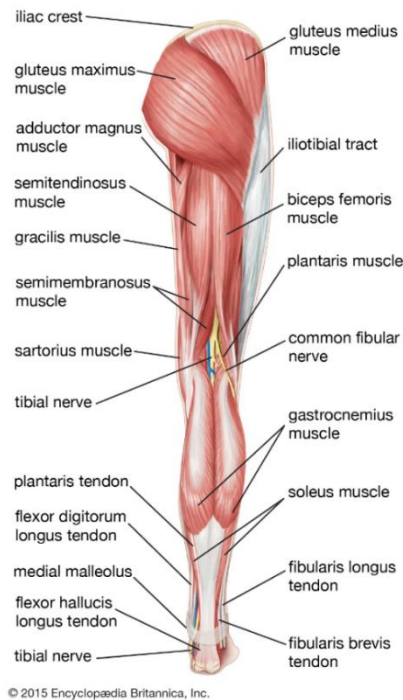
Otot-otot kaki bagian depan, yang dikenal sebagai otot tibialis anterior, merupakan kelompok otot yang terletak di bagian depan tulang kering (tibia) seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.4 berperan penting dalam mengendalikan gerakan dan posisi kaki. Otot-otot ini memiliki peran utama dalam fleksi dorsal, yaitu mengangkat bagian atas kaki dan mengarahkan ujung kaki ke arah tubuh. Otot tibialis anterior berperan saat kita mengangkat kaki dari permukaan tanah, seperti saat berjalan, berlari, atau naik tangga. Selain itu, otot ini juga membantu menjaga keseimbangan tubuh dengan mencegah terjatuh saat kaki mengangkat.

Fleksi dorsal yang dimediasi oleh otot tibialis anterior penting dalam menjaga stabilitas saat berjalan dan berlari serta dalam aktivitas olahraga yang melibatkan gerakan kaki, seperti menendang bola. Otot-otot ini juga berkontribusi

pada postur tubuh secara keseluruhan. Kekuatan dan koordinasi otot-otot kaki bagian depan memainkan peran krusial dalam menjalankan tugas-tugas sehari-hari dan aktivitas fisik yang lebih intens.



Gambar 2.4 Struktur Otot Kaki Bagian Depan [15]

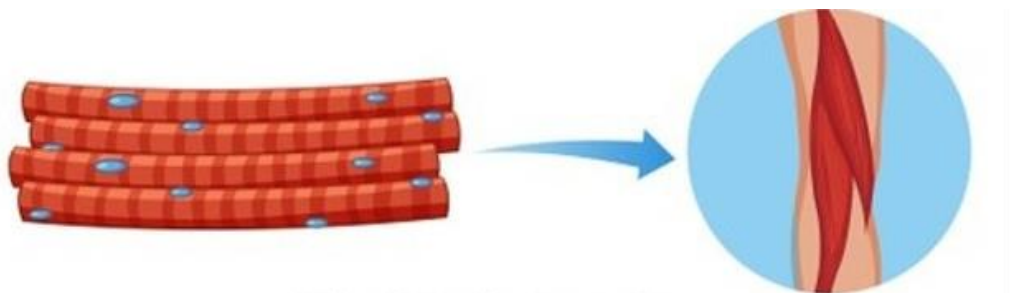


Gambar 2.5 Struktur Otot Kaki Bagian Belakang [14]

Gambar 2.5 diatas menggambarkan struktur dari otot kaki bagian belakang. Otot kaki bagian belakang, termasuk otot gastrocnemius dan soleus, terletak di belakang betis dan berperan utama dalam gerakan plantar fleksi, seperti menurunkan tumit dan mengangkat ujung kaki. Otot-otot ini krusial dalam berjalan, berlari, dan aktivitas lainnya yang melibatkan gerakan kaki serta pergelangan kaki. Selain itu, otot-otot ini membantu menjaga keseimbangan dan postur tubuh.

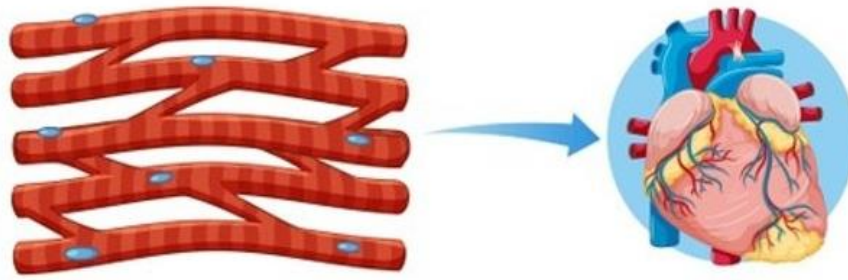
Otot terdiri dari serabut-serabut silindris yang memiliki karakteristik serupa dengan sel-sel dari jaringan lainnya. Semua serabut-serabut ini mengelompok menjadi berkas-berkas serabut kecil melalui jaringan ikat khusus yang mengandung elemen-elemen kontraktil. Otot terdiri dari 3 jenis, diantaranya yaitu [16]:

- a. Otot bergaris, juga dikenal sebagai otot lurik, otot kerangka, atau otot sadar, memiliki ciri khas berupa serabut-serabut otot yang membentuk garis-garis melintang dengan pola selang-seling antara warna muda dan tua. Otot-otot tipe ini hanya akan mengalami kontraksi apabila menerima rangsangan dari saraf. Gambar 2.6 dibawah ini merupakan ilustrasi dari otot lurik.



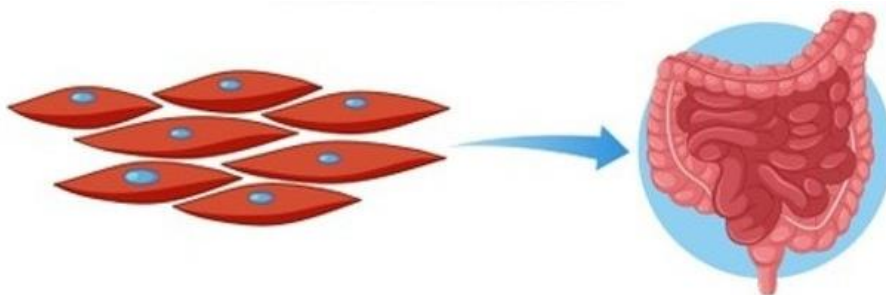
Gambar 2.6 Otot Lurik [16]

- b. Otot polos, juga dikenal sebagai otot tidak bergaris, otot licin, atau otot tak sadar, memiliki karakteristik bahwa jenis ini dapat berkontraksi tanpa memerlukan rangsangan dari saraf. Walaupun sebagian besar aktivitas otot polos ditubuh diatur oleh saraf otonom (tak sadar), ada pengecualian pada otot jantung yang terdiri dari sel-sel otot panjang yang membentuk kumparan, tetapi masih terlihat seperti sel. Otot jantung memiliki keunikan dalam kemampuannya untuk berkontraksi secara otomatis dan berirama tanpa memerlukan rangsangan dari saraf. Pada gambar 2.7 dibawah mengilustrasikan otot jantung.



Gambar 2.7 Otot Polos [16]

- c. Otot *sfincter* terdiri dari serabut otot yang membentuk lingkaran mengelilingi lubang masuk atau keluar sebuah saluran atau mulut saluran. Fungsi utama otot sfincter adalah menutup erat saat berkontraksi. Beberapa contohnya termasuk *sfincter* jantung yang berfungsi pada mulut lambung, dan *sfincter piloris* yang mengatur keluarnya makanan dari lambung. Selanjutnya, ada juga *sfincter* atau katup antara *ileum* dan *kolon*, serta *sfincter* bagian dalam dan bagian luar dari anus dan *uretra* yang dapat diilustrasikan pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Otot Sfincter [16]

Setelah otot menerima rangsangan, terjadi masa laten yang singkat di mana rangsangan diterima. Selanjutnya, otot mengalami kontraksi, artinya, serat otot berpola garis (otot sadar) mengalami proses kontraksi dengan cara menjadi lebih pendek dan lebih tebal, dan kemudian mengalami relaksasi untuk kembali ke panjang semula. Kontraksi ini terjadi hanya dalam beberapa fraksi detik sebagai respons terhadap rangsangan tunggal dari saraf. Setiap kontraksi tunggal memiliki kekuatan yang sama. Jika kontraksi berlangsung dengan intensitas tinggi, maka setiap serat otot dapat melakukan lebih dari 50 kontraksi dalam satu detik [17].

Beberapa faktor mempengaruhi kekuatan kontraksi serat otot. Kontraksi otot menjadi lebih kuat ketika serat otot berada dalam kondisi teregang dan suhu tubuh mencukupi. Sebaliknya, kelelahan dan suhu tubuh yang dingin akan melemahkan kekuatan kontraksi otot. Serat otot yang tak bergaris akan mengalami kontraksi yang lebih lambat dan tidak sepenuhnya bergantung pada rangsangan saraf, meskipun rangsangan saraf tersebut dapat mempengaruhi kekuatan kontraksinya.

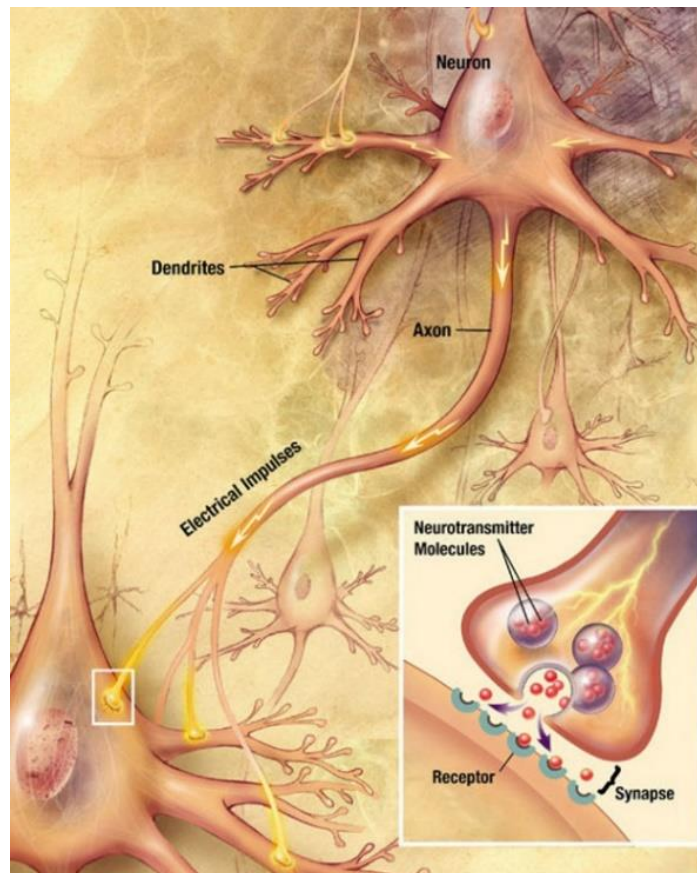
Meskipun terlihat sedang beristirahat, otot tetap aktif dan berada dalam keadaan tonus otot, siap merespons rangsangan. Sebagai contoh, saat terjadi tendangan yang keras pada tendon *patella*, *otot extensor quadrisep femoris* akan berkontraksi karena adanya sedikit rangsangan pada sendi lutut. Ini adalah refleksi yang terjadi karena rangsangan pada saraf. Tingkat *tonus* otot juga mempengaruhi postur tubuh [17].

2.2.2 Sinyal Otot

Sistem saraf terdiri dari dua komponen utama, yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf *perifer*. Sistem saraf pusat mencakup otak dan sumsum tulang belakang. Fungsi utama sistem saraf pusat adalah mengintegrasikan, memproses, dan mengoordinasikan informasi yang diterima dari indra-indra dengan perintah-perintah gerakan. Indra-indra tersebut memberikan informasi mengenai kondisi tubuh baik dari dalam maupun dari luar. Sementara itu, sistem saraf pusat bertanggung jawab untuk menerima perintah gerakan dan mengontrol aktivitas organ-organ *periferal* seperti otot-otot tubuh. Sistem saraf *periferal* merupakan kelanjutan dari sistem saraf pusat dan mencakup serat-serat saraf yang menyebar di seluruh tubuh, kecuali di kuku dan rambut. Karena itu, kuku dan rambut tidak memiliki kemampuan untuk merasakan sakit. Sistem saraf *periferal* memiliki dua fungsi, yaitu sebagai saraf sensorik yang menerima rangsangan dari indra-indra dan sebagai saraf motorik yang mengendalikan gerakan otot-otot tubuh [15].

Pada gambar 2.9 merupakan informasi dari sistem saraf, termasuk data dari pancaindra dan pengaturan gerakan motorik, dihantar melalui sinyal listrik yang dihasilkan oleh reaksi elektrokimia. Proses elektrokimia adalah proses kimia yang menghasilkan aliran arus listrik. Sel-sel saraf dikelilingi oleh membran yang

memiliki selektivitas dalam memungkinkan ion-ion tertentu melewati. Ion-ion seperti *Natrium* (Na^+), *Kalium* (K^+), *Kalsium* (Ca^{2+}), *Klor* (Cl^-), dan molekul-molekul protein bermuatan negatif, berperan penting dalam sistem saraf. Ion-ion ini dapat berpindah melalui membran sel saraf, sehingga mempengaruhi potensial listrik yang ada di dalam sel saraf tersebut [15].



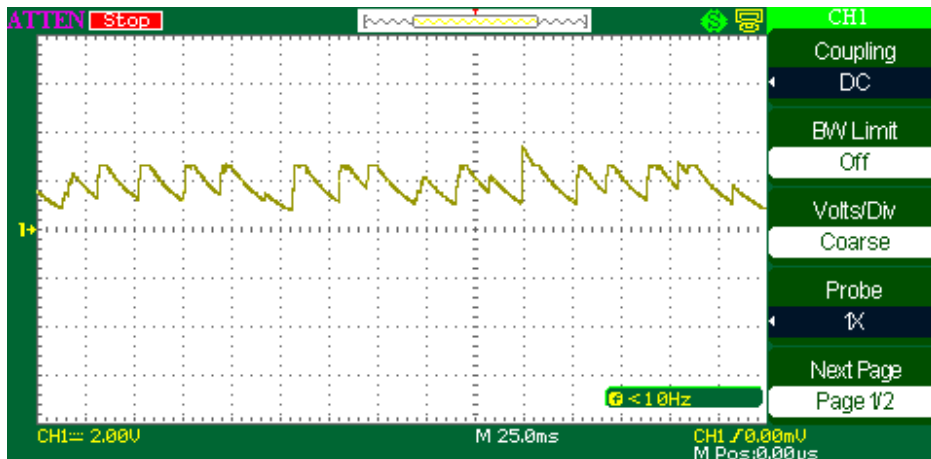
Gambar 2.9 Ilustrasi Sel Saraf (*Neuron*) dan Bagian-Bagiannya [15]

Ketika sel saraf berada dalam keadaan istirahat, tegangan listrik pada bagian dalam sel lebih negatif dibandingkan dengan bagian luarnya. Tegangan ini disebut sebagai tegangan istirahat, dan memiliki besaran sekitar 70 miliVolt (millivolt = seperseribu Volt). Fenomena ini disebabkan oleh perbedaan konsentrasi ion Na^+ dan K^+ yang menghasilkan suatu mekanisme pompa ion, dimana tiga ion Na^+ keluar dari sel saraf untuk setiap dua ion K^+ yang masuk ke dalam sel saraf. Meskipun tegangan istirahat sebesar 70 miliVolt tergolong kecil, namun nilainya 20 kali lebih kecil dibandingkan dengan tegangan listrik baterai AA yang memiliki tegangan sebesar 1,5 Volt.

Stimulasi khusus pada sel saraf dapat menyebabkan perubahan sementara pada tegangan listrik lokal. Perubahan ini kemudian menghasilkan lonjakan listrik yang disebut impuls, yang menyebar di sepanjang permukaan *neuron* menuju sinapsis. Pada sinapsis, terjadi pelepasan substansi kimia yang disebut *neurotransmitter*. Setelah itu, informasi ini diolah oleh otak dengan menggabungkan semua rangsangan untuk menghasilkan respons, seperti gerakan pada sel-sel otot. Tidak semua rangsangan dapat menyebabkan terjadinya tegangan aksi. Tegangan aksi hanya akan terjadi jika rangsangan yang diterima oleh tubuh mencapai sekitar 10-15 miliVolt, sehingga dapat mengubah tegangan istirahat dari -70 miliVolt menjadi tegangan ambang batas sebesar -55 miliVolt. Setelah ambang batas tercapai, besar tegangan aksi yang dihasilkan akan tetap konstan, bahkan jika besaran rangsangan melebihi nilai yang dibutuhkan [15].

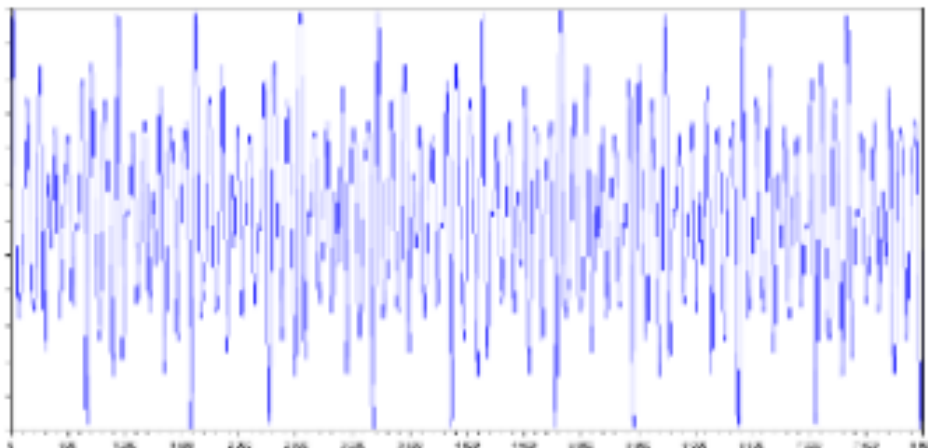
Arus listrik dari sel-sel saraf kemudian berlanjut menuju otot, memicu apa yang disebut sebagai proses kontraksi dan relaksasi. Mekanisme kontraksi dan relaksasi ini berfungsi untuk menghasilkan gerakan pada otot dan mengontrol pergerakan anggota tubuh seperti kaki, tangan, jari, dan bagian tubuh lainnya. Kontraksi terjadi ketika serat-serat otot berkontraksi atau memendek, sedangkan relaksasi terjadi ketika serat-serat otot beristirahat atau memanjang. Satu rangsangan dari sel saraf ke otot hanya akan menyebabkan satu kontraksi yang sangat singkat, biasanya berlangsung sekitar 7-100 milidetik (milidetik = seperseribu detik). Untuk mencapai kontraksi otot yang berkelanjutan, rangsangan harus diulang beberapa kali. Proses kerja otot terdiri dari tiga tahap, yaitu inisiasi kontraksi, fase kontraksi itu sendiri, dan fase relaksasi [15].

Pada tahap awal kontraksi, impuls listrik dalam bentuk potensial aksi mencapai sinapsis dari sel saraf (*neuron*) dan memicu pelepasan *neurotransmitter* yang disebut *acetylcholine (Ach)*. *Ach* kemudian bergerak melintasi sinapsis dan mencapai sel otot, menyebabkan ion *Natrium (Na⁺)* masuk ke dalam sel otot. Peningkatan jumlah ion ini mengakibatkan kenaikan tegangan listrik yang menyebar melalui serabut-serabut otot. Kenaikan tegangan listrik ini selanjutnya memicu pelepasan ion *Kalsium (Ca²⁺)*, yang berperan sebagai pencetus untuk terjadinya kontraksi otot [18].



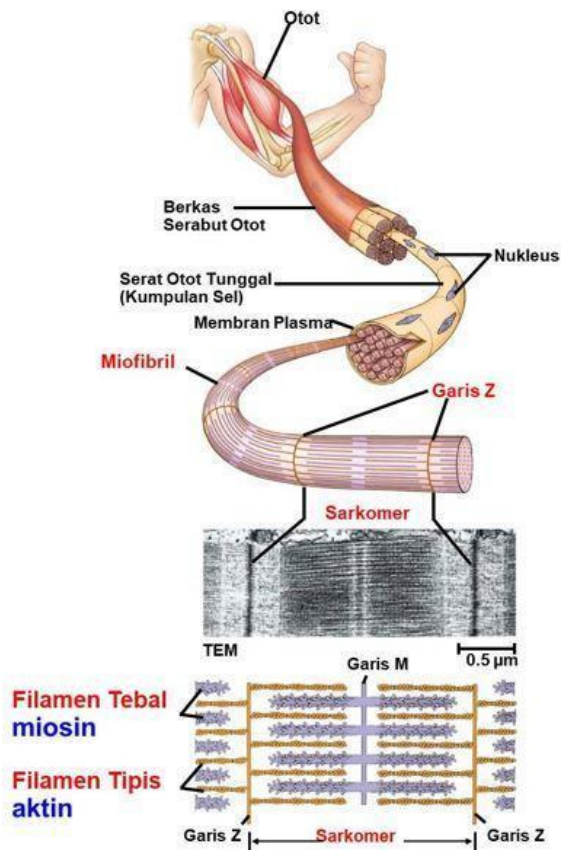
Gambar 2.10 Contoh rekaman sinyal EMG yang terbaca oleh Osiloskop [4]

. Pada gambar 2.10 merupakan bentuk dari sinyal otot hasil dari perekaman melalui osiloskop digital, sedangkan pada gambar 2.11 merupakan keluaran perekaman sinyal otot melalui *scilab*.



Gambar 2.11 Contoh rekaman sinyal EMG yang terbaca oleh *Scilab* [6]

Serat otot yang diilustrasikan pada gambar 2.12 dibawah ini adalah unit dasar otot rangka yang mengontrol kontraksi dan gerakan. Ada dua jenis utama: serat tipe I (lambat, tahan lama) dan serat tipe II (cepat, kuat). Serat tipe I menggunakan oksigen untuk energi dan cocok untuk aktivitas tahan lama. Serat tipe II terdiri dari tipe IIa (campuran) dan tipe IIb (cepat, cepat lelah). Protein kontraktile seperti aktin dan miosin memungkinkan kontraksi. Latihan fisik memengaruhi jenis dan adaptasi serat otot, membantu rancang program latihan yang sesuai dengan tujuan.



Gambar 2.12 Serat Otot dan Bagian-Bagiannya [18]

Didalam serat-serat otot terdapat protein pengatur yang dikenal sebagai *troponin* dan *tropomyosin*. Selama proses kontraksi, ion kalsium (Ca^{2+}) berikatan dengan *troponin*, mengubah ikatan antara *troponin* dan *tropomyosin*. Hal ini menyebabkan paparan sisi aktif filamen tipis (*actin*) dari serat otot. Selanjutnya, kepala filamen tebal (*myosin*) dari serat otot berinteraksi dengan filamen tipis (*actin*), membentuk suatu jembatan dan menyebabkan tarik-menarik. Interaksi antara filamen tebal dan filamen tipis dalam serat otot ini menyebabkan kontraksi serat otot, menyebabkannya memendek dan menarik rangka tubuh sehingga menghasilkan gerakan

Setelah mengalami kontraksi seperti mekanisme lainnya, otot akan memasuki fase istirahat yang dikenal sebagai relaksasi. Pada tahap relaksasi, jumlah ion Ca^{2+} akan berkurang dan secara perlahan melepaskan diri dari *troponin*. Akibatnya, sisi aktif filamen tipis serat otot yang sebelumnya terbuka akan kembali tertutup oleh *tropomyosin*. Selanjutnya, otot akan kembali ke keadaan semula, di mana berada dalam fase relaksasi [18].

2.2.3 IoT (*Internet of Things*)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep dimana benda-benda di sekitar dapat terhubung dengan internet dan berbagi informasi satu sama lain. Banyak yang percaya bahwa IoT merupakan "Tren Besar Selanjutnya" dalam dunia teknologi informasi. Pandangan ini didasarkan pada fakta bahwa teknologi IoT memiliki kemampuan untuk mengubah cara berinteraksi dengan perangkat dan lingkungan sekitar. Dengan adanya konektivitas yang luas, IoT memungkinkan berbagai objek, mulai dari perangkat pintar, kendaraan, hingga rumah pintar, untuk saling berkomunikasi dan berbagi data secara *real-time* [19].



Gambar 2.13 Ilustrasi *Internet of Things* [19]

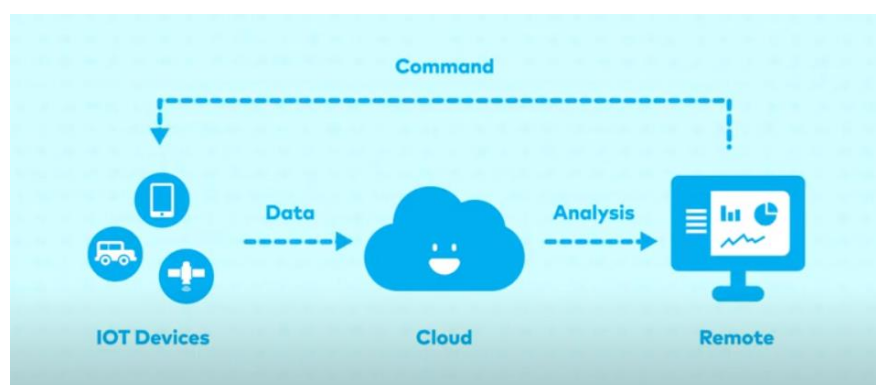
Selain itu, kehadiran teknologi IoT juga membuka berbagai peluang baru dalam berbagai industri. Di bidang kesehatan, IoT dapat digunakan untuk memantau pasien jarak jauh dan memberikan perawatan kesehatan yang lebih efisien. Di sektor industri, IoT dapat meningkatkan efisiensi dan otomatisasi proses produksi dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Tidak hanya itu, teknologi IoT juga memberikan kemudahan bagi konsumen dengan adopsi perangkat pintar. Dengan perangkat IoT yang terhubung, pengguna dapat mengontrol berbagai aspek rumah mereka melalui perangkat seluler, seperti mengatur suhu ruangan, menghidupkan lampu, atau bahkan mengatur sistem keamanan seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.13 diatas.

Internet of Things atau IoT adalah sebuah sistem yang terdiri dari berbagai perangkat, termasuk perangkat komputasi, mekanik, dan digital, dimana setiap perangkat memiliki identifikasi unik (UIDs) dan kemampuan untuk mengirimkan data melalui jaringan seperti lorawan atau internet tanpa intervensi manusia. Sejarah IoT dimulai dari konsep telegraf elektromagnetik yang ditemukan pada tahun 1832. Telegraf memungkinkan komunikasi langsung antara dua perangkat telegraf melalui sinyal listrik, yang menjadi dasar dari IoT. Namun, beberapa pandangan menyatakan bahwa IoT secara nyata dimulai ketika internet pertama kali ditemukan pada akhir 1960-an. Istilah "*Internet of Things*" pertama kali diusulkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 dalam presentasinya yang mengenai solusi *Supply Chain Management* untuk perusahaan P&G [19].

Ekosistem IoT merupakan sekumpulan perangkat pintar yang memiliki kemampuan terkoneksi ke internet dan dilengkapi dengan sistem tertanam seperti prosesor, sensor, dan perangkat keras komunikasi. Perangkat-perangkat ini berperan dalam mengumpulkan, mengirim, dan merespons data yang diperoleh dari lingkungan sekitarnya. Untuk berbagi data dari sensor, perangkat-perangkat IoT terhubung ke *gateway* IoT atau perangkat *edge* lainnya. Data tersebut kemudian ditransfer ke *cloud* untuk dianalisis secara lokal. Perangkat-perangkat IoT juga memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan perangkat terkait lainnya dan merespons informasi yang diterima dari satu sama lain. Mereka mampu melaksanakan tugas-tugas tanpa campur tangan manusia, tetapi juga dapat berinteraksi dengan manusia, seperti dikendalikan, diberikan instruksi, atau mengakses data. Penggunaan aplikasi IoT dalam kehidupan sehari-hari sangat beragam, termasuk perangkat *wearable* pintar, pemantauan kesehatan pintar, pemantauan lalu lintas, implementasi IoT dalam pertanian dengan berbagai sensor dan perangkat pintar, robot pintar di rumah sakit, sistem *smart grid* dan pengelolaan suplai air, serta berbagai aplikasi lainnya [20].

Beberapa elemen kunci yang membentuk *Internet of Things* (IoT) meliputi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), sensor, konektivitas, serta berbagai perangkat kecil seperti *chip*, mikrokontroler, dan komponen sejenisnya. Dengan adanya komponen-komponen tersebut, maka *Internet of Things* (IoT) dapat berfungsi dan beroperasi secara efektif [20]:

- a. Sensor adalah unsur yang membedakan *Internet of Things* (IoT) dari mesin canggih lainnya. Sensor berperan sesuai dengan program yang dijalankan dalam IoT, dan mengubahnya menjadi suatu sistem yang aktif, terintegrasi, dan dapat beroperasi dalam berbagai aktivitas sehari-hari. Dengan adanya sensor, IoT mampu berinteraksi secara *real-time* dengan lingkungannya dan memberikan kemampuan untuk mengumpulkan dan mengolah data secara efisien.
- b. Konektivitas dalam *Internet of Things* (IoT) merupakan kemampuan untuk membuka akses ke berbagai jaringan, termasuk jaringan khusus yang didedikasikan untuk IoT. Dengan demikian, IoT tidak terbatas pada ketergantungan dengan penyedia jaringan tertentu. Jaringan IoT dapat diimplementasikan dalam skala yang fleksibel dan tidak harus mahal, bahkan dapat menggunakan jaringan kecil yang lebih ekonomis. Kemampuan ini memungkinkan IoT untuk beroperasi dalam berbagai sistem dan lingkungan yang berbeda, termasuk dalam skala kecil dan terjangkau.
- c. *Internet of Things* (IoT) sering menggunakan perangkat berukuran kecil. Penggunaan perangkat berukuran kecil ini berperan dalam mendukung dan meningkatkan akurasi, fleksibilitas, skalabilitas, dan mobilitas dalam pengembangan IoT. Keberadaan teknologi ini menjadi kebutuhan yang penting dalam masyarakat karena dapat mengurangi ruang yang dibutuhkan untuk meletakkan perangkat serta meningkatkan efisiensi secara keseluruhan.



Gambar 2.14 Ilustrasi Cara Kerja *Internet of Things* [20]

Gambar 2.14 merupakan ilustrasi dari cara kerja dari *Internet of Things*. *Internet of Things* (IoT) berfungsi melalui program-program yang memungkinkan interaksi otomatis antara berbagai mesin tanpa perlu campur tangan manusia dan

tidak ada batasan jarak saat dalam keadaan aktif. Sebagai contoh, bayangkan situasi dimana sebelumnya mesin pompa air sawah dioperasikan secara manual oleh manusia. Namun, dengan menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT), mesin tersebut dimodifikasi dan diprogram agar dapat terhubung dengan manusia melalui perangkat digital atau *smartphone*. Hal ini memungkinkan operator manusia untuk mengontrol mesin tersebut, termasuk menyalakan, mematikan, dan melakukan fungsi lainnya, dengan bantuan perangkat lunak khusus [21].

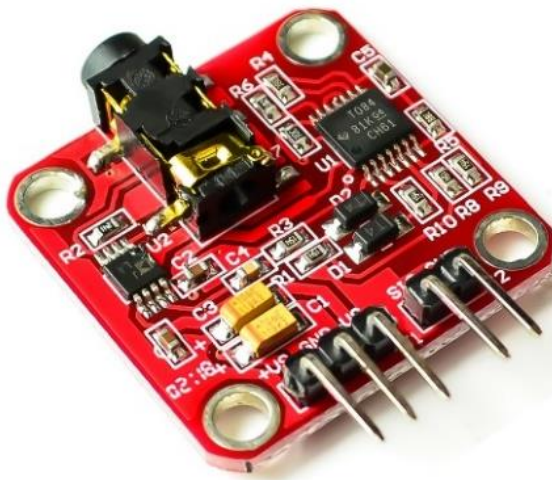
Kata kunci dari fungsi *Internet of Things* (IoT) adalah kemudahan, kecepatan, dan respons instan. Dengan inovasi dan kemudahan yang ditawarkan, IoT dengan cepat diterima oleh masyarakat karena mampu menyederhanakan gaya hidup manusia. Penggunaan IoT dapat menjadi solusi yang efisien dan efektif dengan penggunaan sumber daya yang minimal. Selain itu, IoT juga bertujuan untuk mengurangi beban kerja manusia dan menghemat waktu. Perkembangan IoT juga berlangsung sangat cepat karena adopsi teknologi *Artificial Intelligence* (AI) yang terus belajar dan mengupdate data. Berikut merupakan beberapa keuntungan dari IoT [21]:

- a. IoT memberikan manfaat dalam meningkatkan produktivitas dan pengelolaan waktu yang lebih efisien. Secara keseluruhan, IoT dapat dianggap sebagai alat yang luar biasa dalam menghemat waktu karena kemampuannya untuk mengontrol banyak hal dari satu perangkat. Dengan adanya konektivitas yang lebih baik, waktu yang biasanya dihabiskan untuk menjalankan tugas-tugas yang sama dapat dikurangi.
- b. Melalui pemantauan proses, data yang telah tercatat dapat dianalisis guna meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya dalam proses tersebut.
- c. Koneksi perangkat melalui teknologi IoT memungkinkan transfer data dengan mudah dan cepat. Melalui IP, perangkat-perangkat yang terhubung ke internet dapat berkomunikasi, mengumpulkan, dan menerima data secara *virtual*, yang berkontribusi pada efisiensi dan penyederhanaan proses pengumpulan data.
- d. Salah satu keunggulan dari IoT adalah kemampuannya dalam otomatisasi, yang membantu mengurangi beban kerja dengan melakukan banyak tugas secara mandiri. Dengan perangkat yang dapat melaksanakan sebagian besar pekerjaan, waktu dan biaya dapat dihemat.

Walaupun IoT menawarkan sejumlah keuntungan, tetap ada beberapa tantangan yang signifikan yang harus dihadapinya. Berikut adalah beberapa kelemahan yang terdapat pada IoT [21]:

- a. Sistem IoT berinteraksi dan berkomunikasi melalui jaringan, sehingga meskipun ada langkah-langkah keamanan, sistem ini cenderung memiliki tingkat kendali yang terbatas, dan hal ini bisa menyebabkan munculnya berbagai jenis serangan jaringan.
- b. Penggunaan internet dan teknologi secara berlebihan mengakibatkan berkurangnya aktivitas fisik pada individu, karena mereka cenderung lebih mengandalkan perangkat pintar daripada melakukan pekerjaan fisik, sehingga menyebabkan tingkat keaktifan yang rendah.
- c. Kompleksitas sistem IoT terjadi karena proses perancangan, pengembangan, pemeliharaan, dan implementasi teknologi yang luas pada sistem ini menjadi tugas yang rumit.
- d. Sangat mungkin bahwa seluruh sistem akan mengalami gangguan. Jika ada kesalahan dalam sistem, ada kemungkinan bahwa semua perangkat yang terhubung akan mengalami kerusakan.

2.2.4 Elektromiografi (EMG)



Gambar 2.15 Sensor Elektromiografi (EMG) [3]

Elektromiografi (EMG) adalah bidang yang terkait dengan deteksi, analisis, dan pemanfaatan sinyal listrik yang timbul akibat kontraksi otot. Proses listrik yang

terjadi pada otot dapat direkam melalui teknik elektromiografi. Perekaman sinyal listrik ini menggunakan perangkat elektromiograf, dan hasil rekamannya disebut elektromiogram. Sensor dalam elektromiografi menangkap sinyal listrik yang dikirim melalui sistem saraf ke serat-serat otot, yang menyebabkan kontraksi otot. Rekaman aktivitas listrik ini umumnya disebut sebagai Elektromiogram. Gambar 2.15 di atas merupakan bentuk fisik dari sensor elektromiografi.

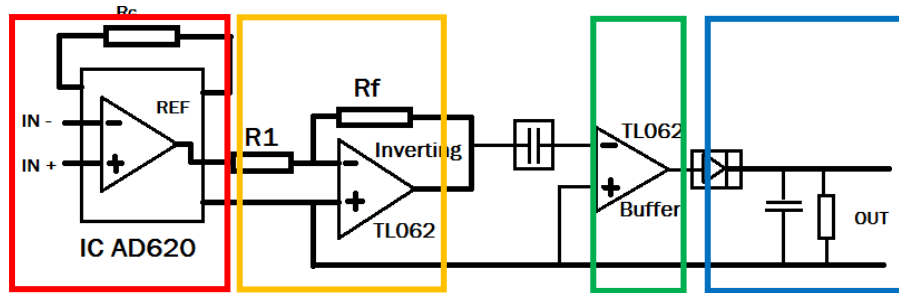
Elektromiogram (EMG) adalah representasi dari sinyal listrik yang diambil oleh elektroda. Elektroda dapat ditempatkan baik di permukaan kulit atau langsung di dalam otot, berfungsi sebagai penguat atau sensor tegangan listrik. Dengan menggunakan sensor EMG ini, dapat memperoleh berbagai informasi mengenai otot tubuh manusia. Prinsip kerja EMG adalah dengan mendeteksi potensial listrik yang dihasilkan oleh sel-sel otot saat saraf atau sel-sel listriknya diaktifkan. Hasil sinyal ini kemudian dianalisis untuk mendeteksi kelainan medis atau permasalahan terkait gerakan tubuh manusia [20].

Pengukuran sinyal EMG dilakukan melalui suatu perangkat yang disebut elektromiograf, dan hasil rekamannya dikenal sebagai elektromiogram. Elektromiograf berfungsi untuk mendeteksi sinyal listrik yang dihasilkan oleh otot saat otot tersebut aktif maupun dalam kondisi tidak aktif. Proses pengukuran sinyal EMG mengalami beberapa tahap, termasuk tahap *membrane* potensial dan *muscle fiber action potential*, yang juga mencakup *noise* dan *artifact* sehingga membentuk *Motor Unit Action Potential* (MUAP).

Sinyal EMG ini sering digunakan dalam aplikasi biomedis. Karakteristik sinyal EMG mencakup pola acak atau stokastik dengan *amplitudo* berkisar antara 0 hingga 1,5 mV (*root mean square*) atau 0 hingga 10 mV (*peak-to-peak*), dan rentang frekuensi antara 0 hingga 500 Hz. Energi sinyal dominan biasanya terletak pada rentang frekuensi 50 hingga 150 Hz.

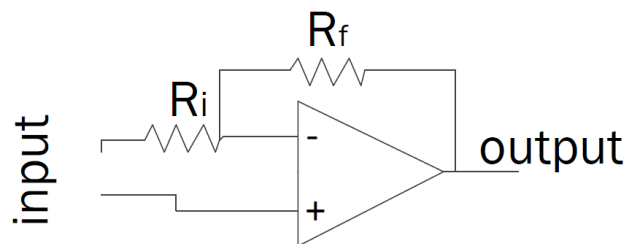
Dalam perekaman sinyal EMG, terdapat dua jenis sensor yang umum digunakan, yaitu elektroda jarum dan elektroda permukaan (kulit). Elektroda jarum biasanya digunakan untuk mengukur aktivitas unit motorik tunggal, sedangkan elektroda permukaan lebih sering digunakan untuk mengukur aktivitas unit motorik yang lebih luas [28].

2.2.5 Rangkaian Sensor Elektromiografi



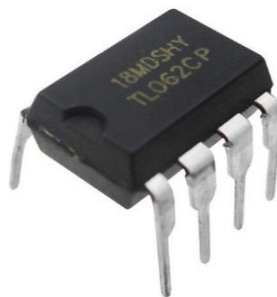
Gambar 2.16 Rangkaian Elektromiografi [24]

Pada 2.16 diatas, rangkaian elektromiografi ditandai dengan kotak berwarna merah. Rangkaian ini menggunakan IC AD620 sebagai penguat sinyal otot yang diambil oleh elektroda. Untuk mengolah sinyal otot yang berasal dari elektroda, elektroda 1 dihubungkan ke kaki 2 sebagai V_{in+} , elektroda 2 dihubungkan ke kaki 3 sebagai V_{in-} , dan elektroda 3 dihubungkan ke kaki 5 sebagai sumber tegangan [24].



Gambar 2.17 Rangkaian Inverting [24]

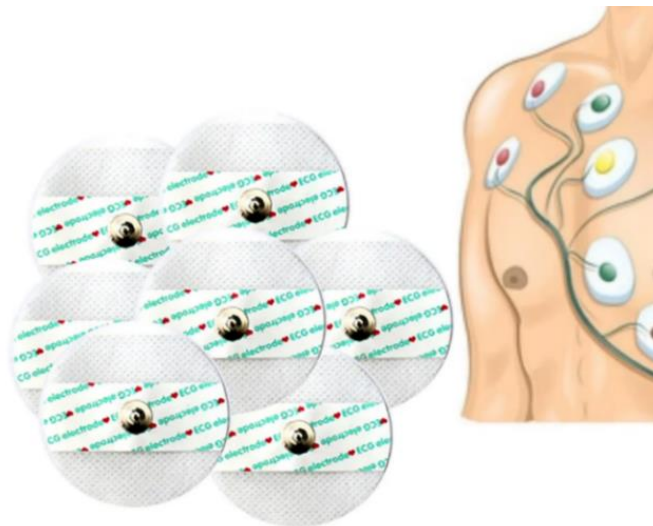
Kotak berwarna kuning menunjukkan penguat *inverting*. Penguat *inverting* ini menggunakan op-amp yang dirangkai sesuai dengan skema yang ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.18 Bentuk Fisik TL062CP [24]

Komponen op-amp yang digunakan adalah TL062CP. Kotak berwarna hijau menunjukkan *buffer*, yang bertugas untuk menstabilkan sinyal keluaran dari penguat inverting. Komponen *buffer* ini juga menggunakan op-amp dan dirangkai sesuai dengan skema yang tertera pada kotak hijau, dan komponen yang digunakan adalah TL062CP yang dalam bentuk fisiknya tertampil pada gambar 2.18. Sementara itu, kotak berwarna biru menunjukkan rangkaian *envelope detector*, yang bertugas untuk mengambil nilai puncak keluaran dari penguatan sebelumnya. Rangkaian ini berperan penting dalam mendeteksi nilai puncak dari sinyal keluaran [24].

2.2.6 Elektroda



Gambar 2.19 Elektroda Gel dan Ilustrasi Pemasangannya [3]

Elektroda berfungsi sebagai penghubung kimia antara kulit dan bagian metal elektroda. Dalam perancangan sistem ini, digunakan elektroda berjenis gel yang bertujuan untuk mengurangi gangguan *noise* yang disebabkan oleh celah udara antara kulit dan elektroda. Dengan menggunakan gel, celah udara dapat diminimalkan karena gel mengisi ruang di antara kulit dan elektroda. Selain itu, gel juga berfungsi untuk meningkatkan pembacaan sinyal otot karena permukaan kulit manusia yang tidak rata dan memiliki pori-pori dapat diisi oleh gel, sehingga mengurangi gangguan saat pembacaan sinyal. Pada gambar 2.19 merupakan ilustrasi dari pemasangan elektroda.

Reaksi oksidatif dan reduktif yang terjadi pada permukaan metal dan gel juga berpengaruh pada ketepatan pengukuran sinyal otot karena mengurangi jumlah *noise* yang masuk. Elektroda memiliki peran penting dalam membaca dan menghantarkan sinyal otot dari permukaan kulit ke rangkaian EMG untuk proses deteksi dan analisis sinyal. Elektroda EMG memiliki tiga warna yang berbeda untuk membedakan antara elektroda positif, negatif, dan netral. Elektroda positif biasanya berwarna merah, elektroda negatif berwarna hitam, dan elektroda netral berwarna putih atau hijau [22].

Dalam elektromiografi (EMG), terdapat dua metode pemasangan elektroda yang umum digunakan, yaitu metode intramuscular EMG dan metode *Surface* EMG. Pada metode *intramuscular* EMG, jarum digunakan sebagai alat penghubung antara sensor dan serat otot yang akan diukur. Sementara itu, teknik *Surface* EMG menggunakan elektroda yang ditempatkan di permukaan kulit di daerah otot yang akan diukur. Penggunaan metode *intramuscular* lebih presisi dalam pengukuran karena jarumnya langsung menyentuh lapisan serat otot, namun prosedur menggunakan jarum ini berisiko dan sebaiknya hanya dilakukan oleh ahli.

Metode *Surface* EMG menghasilkan hasil yang kurang akurat karena potensial yang dihasilkan oleh unit motorik sulit terbaca akibat adanya lapisan lemak di antara permukaan elektroda dan otot yang diukur. Jumlah jaringan di antara permukaan otot dan elektroda juga dapat mempengaruhi penyaringan spasial dari sinyal dan berdampak pada ketepatan pengukuran [4].

2.2.7 NodeMCU ESP8266



Gambar 2.20 NodeMCU ESP8266 [31]

NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah platform IoT yang bersifat *opensource*. Platform ini menggunakan *System On Chip* ESP8266 sebagai perangkat keras utamanya. NodeMCU adalah sebuah board elektronik berbasis chip ESP8266 yang memiliki kemampuan sebagai mikrokontroler dan mendukung koneksi internet (WiFi). Terdapat beberapa pin *input/output* (I/O) yang memungkinkan pengembangan aplikasi monitoring dan kontrol pada proyek-proyek IoT. NodeMCU ESP8266 dapat diprogram menggunakan compiler dari Arduino dan memanfaatkan Arduino IDE. Secara fisik, NodeMCU ESP8266 dilengkapi dengan *port USB (mini USB)* yang mempermudah dalam proses pemrograman. Gambar 2.20 diatas merupakan bentuk fisik dari NodeMCU ESP8266.

NodeMCU ESP8266 adalah sebuah modul pengembangan yang merupakan turunan dari keluarga platform IoT (*Internet of Things*) berbasis chip ESP8266, khususnya tipe ESP-12. Secara fungsional, modul ini memiliki kemiripan dengan *platform* modul Arduino, namun perbedaannya terletak pada fokusnya yang ditujukan untuk koneksi ke internet (*Connected to Internet*). Saat ini, terdapat tiga versi berbeda dari modul NodeMCU yang tersedia [25]. Gambar 2.21 dibawah ini merupakan NodeMCU dalam berbagai versi.



Gambar 2.21 NodeMCU ESP8266 Dalam Beberapa Versi [25]

- a. NodeMCU versi pertama (v0.9) memiliki chip ESP8266 tipe ESP-12 dengan memori *flash* 4 MB sebagai *System on Chip* (*SoC*). Namun, kelemahan dari versi ini adalah ukuran modul *board* yang lebar, menyebabkan jika digunakan untuk *prototyping* di *breadboard*, semua pin pada *breadboard* akan terpakai hanya untuk modul ini.
- b. NodeMCU versi 1.0 merupakan pengembangan dari versi sebelumnya, yaitu versi 0.9. Pada versi 1.0, NodeMCU menggunakan chip ESP8266 tipe ESP-12E

yang dianggap lebih stabil dibandingkan dengan tipe ESP-12. Selain itu, ukuran board modulnya diperkecil, sehingga memungkinkan digunakan dalam membuat prototipe proyek di *breadboard*. Versi 1.0 juga dilengkapi dengan pin khusus untuk komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) dan PWM (*Pulse Width Modulation*), yang tidak tersedia pada versi 0.9.

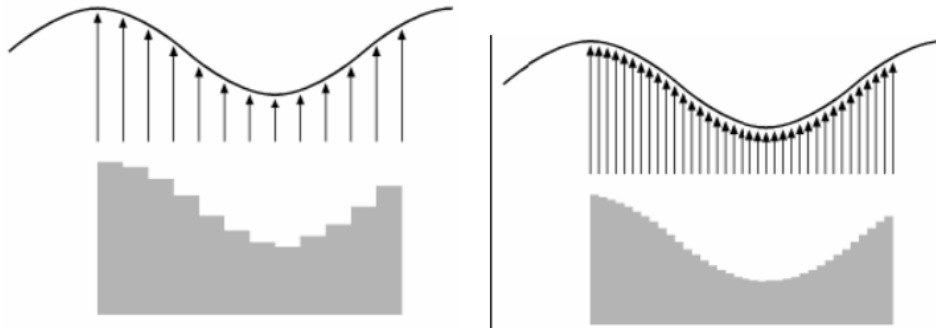
- c. NodeMCU versi 1.0 (unofficial board) disebut "*unofficial board*" karena merupakan produk modul yang diproduksi tanpa persetujuan langsung dari *Developer Official NodeMCU*.

2.2.8 ADC (*Analog to Digital Converter*)

ADC (*Analog to Digital Converter*) merupakan sebuah komponen elektronik yang memiliki peran mengubah sinyal analog (berupa sinyal kontinu) menjadi bentuk sinyal digital. Modul atau rangkaian elektronika, bahkan *chip IC*, dapat digunakan sebagai perangkat ADC. Fungsinya adalah menghubungkan proses pengolahan sinyal analog ke dalam sistem digital. Alat bantu digital yang memiliki peran penting dalam teknologi pengendalian proses adalah yang mengubah data digital menjadi format analog dan sebaliknya. Piranti ini secara dominan bertanggung jawab atas pengukuran variabel-variabel dinamis, merubah informasi mengenai variabel-variabel tersebut menjadi sinyal listrik analog. Agar dapat mengintegrasikan sinyal ini dengan komputer atau rangkaian logika digital, proses konversi analog ke digital (A/D) menjadi langkah esensial. Pengetahuan mendalam mengenai proses konversi ini diperlukan untuk memahami kompleksitas hubungan unik antara sinyal analog dan digital [26].

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan alat yang mengubah sinyal *input* analog menjadi representasi berupa kode-kode digital. ADC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengaturan proses industri, komunikasi digital, dan pengukuran/pengujian rangkaian. Umumnya, ADC berfungsi sebagai perantara antara sensor-sensor yang mayoritas bersifat analog dengan sistem komputer, seperti sensor-sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran, dan lain sebagainya. Informasi yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian diubah menjadi bentuk digital agar dapat diolah oleh komputer. Terdapat dua karakteristik prinsipil dalam ADC (*Analog to Digital Converter*), yaitu kecepatan sampling dan

resolusi. Gambar 2.22 dibawah ini merupakan gambaran dari ADC dengan kecepatan sampling rendah dan kecepatan sampling tinggi.



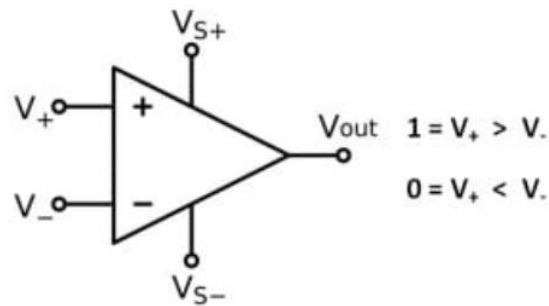
Gambar 2.22 ADC dengan Kecepatan Sampling Rendah dan Kecepatan Sampling Tinggi [26]

Frekuensi sampling ADC mengindikasikan seberapa kerap sinyal analog diubah menjadi sinyal digital dalam interval waktu tertentu. Besaran frekuensi sampling ini umumnya diukur dalam jumlah sampel per detik (SPS). Ketelitian hasil konversi ADC ditentukan oleh resolusinya. Sebagai ilustrasi, ADC 8 bit menghasilkan data digital dengan panjang 8 bit, sehingga sinyal masukan dapat direpresentasikan dalam 255 nilai diskrit ($2^n - 1$). Sementara itu, ADC 12 bit memiliki keluaran data digital sebanyak 12 bit, sehingga sinyal masukan dapat diwakili oleh 4096 nilai diskrit. Dari contoh tersebut, ADC 12 bit menunjukkan kemampuan dalam menghasilkan hasil konversi yang lebih akurat dibandingkan dengan ADC 8 bit [26].

ADC bekerja dengan cara mengubah sinyal analog menjadi nilai yang berhubungan dengan perbandingan antara sinyal *input* dan tegangan referensi. Sebagai ilustrasi, apabila tegangan referensi adalah 5 volt dan tegangan *input* adalah 3 volt, perbandingan *input* terhadap referensi adalah 60%. Dengan menggunakan ADC 8 bit sebagai contoh, di mana skala maksimumnya adalah 255, maka hasil yang dihasilkan dalam bentuk sinyal digital akan menjadi 60% dari 255, yaitu 153 dalam format desimal atau 10011001 dalam format biner.

Bentuk dasar komunikasi antara bentuk digital dan analog terwujud dalam suatu perangkat yang sering kali disebut komparator, yang biasanya berupa sebuah rangkaian terpadu (IC). Rangkaian ini, seperti yang ditunjukkan dalam skema di bawah, berfungsi dengan cara yang sederhana yaitu membandingkan dua tegangan

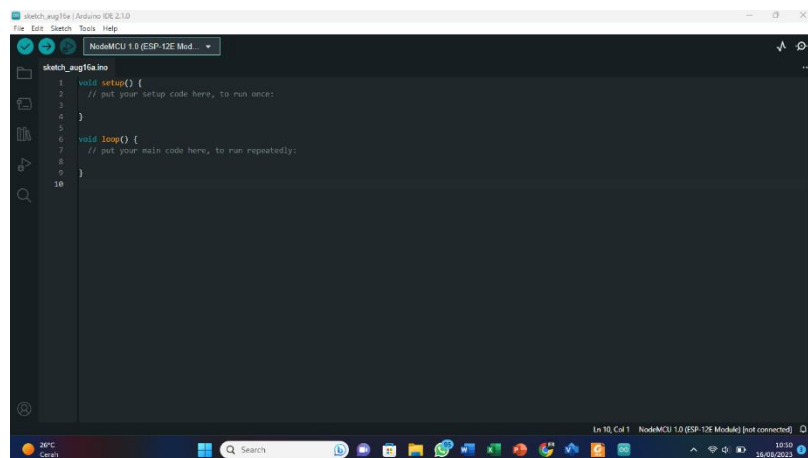
di terminal input-nya. Berdasarkan perbandingan tersebut, output yang dihasilkan akan berupa sinyal digital 1 (*high*) atau 0 (*low*), tergantung pada nilai tegangan yang lebih besar. Fungsi utama dari komparator ini adalah untuk menghasilkan sinyal alarm ke komputer atau sistem pemroses digital, dan oleh karena itu, komparator digunakan secara luas dalam aplikasi seperti itu [26].



Gambar 2.23 Konsep Komparator pada ADC (*Analog to Digital Converter*) [26]

Pada gambar 2.23 di atas menggambarkan bagaimana komparator mengubah status keluaran logika berdasarkan nilai tegangan input analog. Sebuah komparator umumnya terdiri dari sebuah op-amp yang menghasilkan keluaran yang terkondisi untuk mencapai tingkat yang diinginkan yang sesuai dengan kondisi logika tertentu (+5 dan 0 untuk merepresentasikan TTL 1 dan 0). Komparator yang dijual dipasaran didesain sedemikian rupa sehingga memiliki tingkat logika yang diperlukan pada bagian keluarannya [26].

2.2.9 Arduino IDE

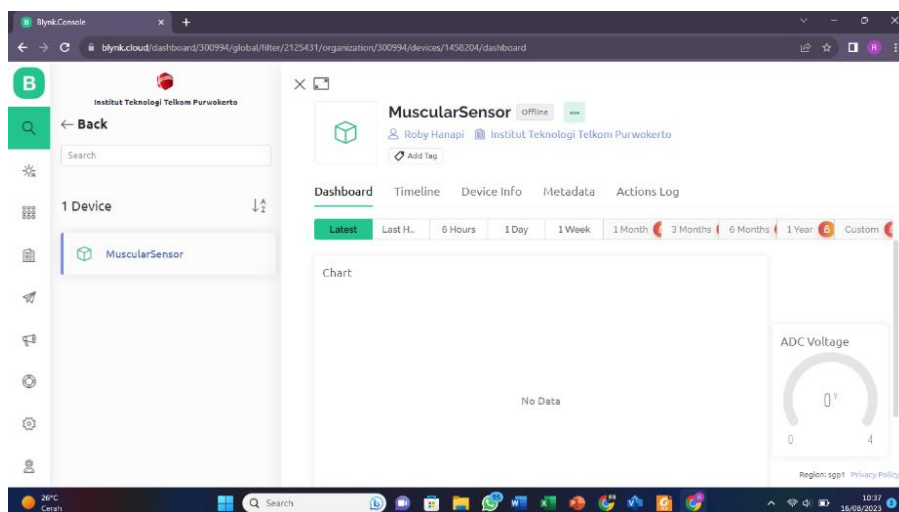


Gambar 2.24 Tampilan pada Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan sebuah perangkat lunak yang bertugas untuk mengembangkan dan memprogram Arduino. Dengan kata lain, Arduino IDE berperan sebagai lingkungan pengembangan yang digunakan untuk membuat, mengedit, dan memvalidasi kode program yang akan dijalankan pada *board* Arduino. Perangkat lunak ini tersedia secara gratis melalui situs resmi Arduino IDE. Selain sebagai editor teks untuk *coding*, Arduino IDE juga berfungsi sebagai alat untuk mengunggah (*upload*) program yang telah dibuat ke *board* Arduino. Program yang ditulis dalam Arduino disebut sebagai "*sketch*" Arduino atau sering disebut sebagai *source code* Arduino dengan ekstensi file *.ino* [32]. Pada gambar 2.24 diatas merupakan tampilan awal pada Arduino IDE saat sebelum membuat *script* program.

2.2.10 Aplikasi *Blynk IoT*

Blynk merupakan *platform* yang dapat berfungsi pada sistem operasi iOS dan Android, memungkinkan pengguna untuk mengendalikan modul Arduino, *Raspberry Pi*, ESP8266, dan perangkat serupa lainnya melalui koneksi internet. Pada gambar 2.23 diatas merupakan tampilan pada platform Penggunaan aplikasi *blynk* sangat mudah dan dapat diakses melalui perangkat Android atau iOS. Aplikasi *blynk* tidak terbatas pada komponen atau *chip* tertentu, namun perangkat yang digunakan harus memiliki akses Wi-Fi agar dapat berkomunikasi dengan *hardware*.

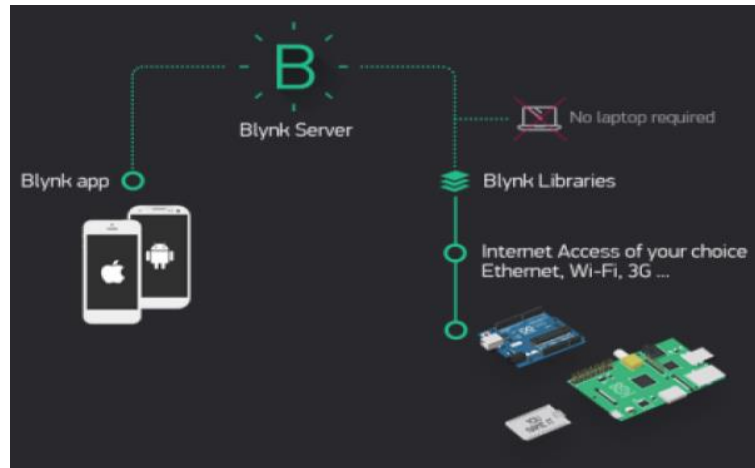


Gambar 2.25 Tampilan Platform *Blynk*

Gambar 2.25 diatas merupakan tampilan *platform blynk* yang telah terhubung dengan perangkat keras melauai jaringan internet. Aplikasi *blynk* memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat keras dari kejauhan dengan mudah melalui perangkat yang terhubung dengan jaringan internet. Dengan koneksi internet yang stabil, pengguna dapat mengakses perangkat keras yang terhubung dengan NodeMCU atau mikrokontroler lainnya melalui aplikasi *blynk*. Ini memberikan fleksibilitas dan kenyamanan dalam mengontrol berbagai perangkat seperti lampu, kipas angin, kunci pintu, dan banyak lagi, tanpa harus berada didekat perangkat tersebut secara fisik. Pengguna dapat mengubah status perangkat, memantau sensor, atau mengaktifkan fungsi tertentu melalui antarmuka yang intuitif dan mudah digunakan pada aplikasi *blynk*. Selain itu, *blynk* juga menyediakan kemampuan untuk memprogram tindakan otomatis dengan pengaturan aturan berdasarkan waktu, sensor, atau peristiwa tertentu, memberikan pengalaman pengguna yang lebih kaya dan pintar dalam mengontrol perangkat keras. Terdapat tiga *platform blynk* yang tersedia, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.26:

- a. Aplikasi *blynk* memainkan peran krusial dalam mengembangkan proyek aplikasi dengan beragam pilihan *widget* yang telah disediakan. Namun, ada batasan dalam penggunaan *widget* disatu akun, yaitu batas maksimal 2000 *energy*. Jumlah *energy* ini dapat ditingkatkan dengan membelinya melalui *platform Playstore*.
- b. *Blynk server* memiliki peran penting dalam mengelola proyek pada aplikasi *blynk* dan bertindak sebagai perantara antara smartphone dan perangkat keras yang digunakan. *Blynk server*, atau yang dikenal sebagai *blynk cloud*, dapat diakses baik melalui jaringan lokal maupun melalui *internet*, dan *platform* ini bersifat *open source*.
- c. *Blynk libraries* berperan sebagai alat bantu untuk menyederhanakan proses komunikasi antara perangkat keras dan *server blynk*. Dengan menggunakan *blynk libraries*, interaksi antara *hardware* dengan *server* serta segala proses perintah *input* dan *output* dapat dijalankan dengan lebih mudah dan efisien.

Berikut adalah diagram blok yang menggambarkan proses komunikasi yang terjadi pada aplikasi *blynk* seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.26 Blok Diagram Komunikasi *Blynk* [33]

Proses komunikasi pada aplikasi *blynk* melibatkan beberapa komponen utama. Pertama, ada perangkat keras (*hardware*) yang terhubung dengan NodeMCU atau modul mikrokontroler lainnya. Perangkat keras ini bisa berupa sensor, aktuator, atau perangkat lain yang ingin dikontrol atau dimonitor melalui aplikasi *blynk*. Kedua, terdapat aplikasi *blynk* yang terinstal pada perangkat *mobile* atau *gadget* pengguna, seperti *smartphone* atau *tablet*. Pengguna dapat menggunakan aplikasi *blynk* untuk mengontrol atau memonitor perangkat keras yang terhubung dengan NodeMCU. Ketiga, terdapat koneksi internet yang menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi *blynk*. NodeMCU terhubung ke *internet* melalui Wi-Fi atau koneksi lainnya, yang memungkinkannya untuk berkomunikasi dengan *server blynk*. Keempat, ada *server blynk* yang berfungsi sebagai perantara antara perangkat keras dan aplikasi *blynk*. Perangkat keras mengirimkan data atau statusnya ke *server blynk*, dan aplikasi *blynk* mengirimkan perintah atau instruksi ke *server blynk*. *Server blynk* kemudian meneruskan data atau instruksi tersebut ke perangkat keras yang sesuai. Dengan cara ini, pengguna dapat mengontrol perangkat keras dari jarak jauh melalui aplikasi *blynk*, selama perangkat keras dan aplikasi *blynk* terhubung ke internet dan terdaftar pada akun yang sama di *server blynk*. Proses komunikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat keras dengan mudah dan efisien menggunakan perangkat *mobile* mereka.