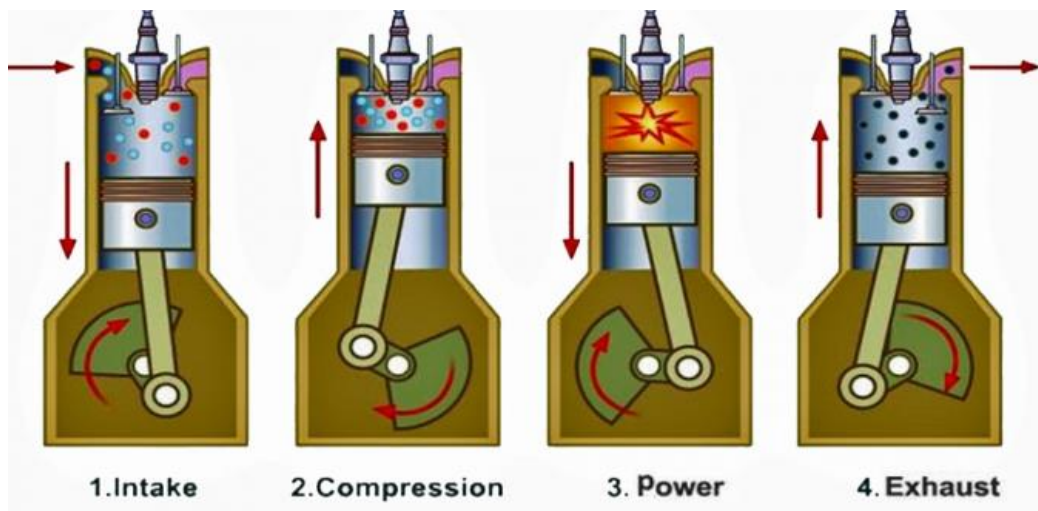


2. STUDI LITERATUR

2.1 Ignition

Sebuah mesin bensin membutuhkan percikan bunga api untuk menyalakan (membakar) campuran udara dan bahan bakar pada tiap silinder. Pengapian melibatkan empat fungsi *basic*: persediaan listrik tegangan rendah, peningkatan tegangan ke level yang lebih tinggi, distribusi listrik bertegangan tinggi ke masing-masing ruang bakar dan akhirnya keluar dalam bentuk bunga api. Proses ini masing-masing dilakukan oleh generator, koil induksi, distributor, dan busi. (Moseley & Rand, 2014).



Gambar 2. 1 Proses penyalaan busi

Sumber: *Beginner's guide: What is a four stroke engine and how does it work?*, (2023). <https://us.haynes.com/blogs/tips-tutorials/beginners-guide-what-four-stroke-engine>

Sistem pengapian ini menjadi hal yang vital pada motor bakar bensin. Untuk membakar campuran dan bahan bakar mesin bensin membutuhkan percikan bunga api. Hal ini karena kompresi yang dihasilkan mesin bensin berada di rentang 8-11:1. Dengan tidak adanya percikan bunga api, angka kompresi tersebut belum cukup untuk membakar campuran udara dan bahan bakar.

2.1.1 Ignition Process

Sistem pengapian merupakan sistem yang digunakan untuk menghasilkan bunga api, guna melakukan pembakaran terhadap campuran bahan bakar dan udara yang ada di dalam ruang bakar dengan waktu pengapian (*Ignition timing*) yang telah ditentukan. Untuk tercapainya loncatan bunga api pada busi, maka harus ada tegangan listrik yang cukup tinggi berkisar antara 10.000 sampai 20.000 Volt. (Machmud et al, 2013). Pada saat ini pabrikan mobil telah memproduksi 3 jenis

pengapian yaitu sistem pengapian konvensional, sistem pengapian transistor, dan sistem pengapian DLI (*Distributor less ignition*). Pada penelitian ini penulis menggunakan Honda Civic Genio yang menggunakan sistem pengapian transistor. Sistem pengapian transistor menggunakan teknologi elektronik untuk mengontrol waktu pengapian dengan lebih akurat, memastikan efisiensi dan emisi gas buang yang lebih baik. Sistem ini menggantikan sistem pengapian konvensional yang menggunakan platina.

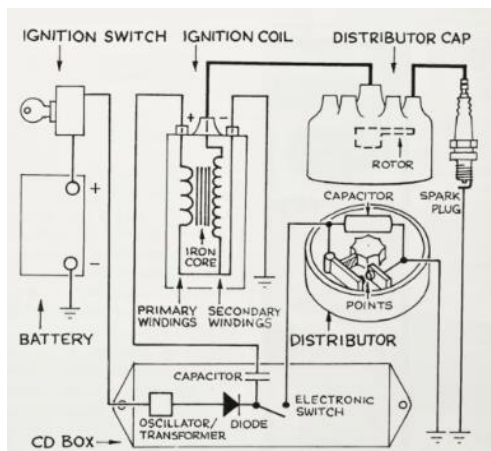
2.2 Coil

Pada SI (*Spark Ignition*) engine komponen penting yang menjadi syarat pembakaran adalah *coil*. *Ignition coil* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengapian motor bensin karena *ignition coil* menentukan baik tidaknya proses pembakaran di dalam silinder, *ignition coil* berfungsi untuk menghasilkan induksi tegangan tinggi. Listrik yang masuk kedalam koil memiliki tegangan 12 volt, namun setelah keluar dari *coil* tegangan dapat naik hingga lebih dari 10.000 volt melalui proses induksi elektromagnetik. Tegangan ini yang disalurkan ke busi melalui kabel busi untuk memercikan bunga api saat puncak langkah kompresi.

Jenis *coil*:

2.2.1. Can Conventional Ignition coil

Coil ini terdiri atas 2 set lilitan kawat terinsulasi yang mengelilingi inti besi. Lilitan primer umumnya terdiri dari ratusan lilitan kawat yang besar. Lilitan sekunder terdiri dari kawat yang berukuran jauh lebih kecil dan terdiri dari ratusan gulungan. (Todd Ryden, 2013). *Coil* ini digunakan pada kebanyakan mobil-mobil lama yang masih menggunakan sistem pengapian transistor. Ciri-ciri dari *coil* ini adalah memiliki bentuk tabung yang menyerupai botol, sehingga banyak masyarakat yang menyebutnya koil botol.



Gambar 2. 2 Diagram pengapian *coil* konvensional

Sumber: *How it works: Ignition system*. (2023). <https://www.hotrod.com/features/how-it-works-may-1993-982-1504-42-1/>

2.2.2. Ignition coil Molded

Tipe *moulded* adalah tipe koil yang umum dipakai. Pada jenis ini terdapat kumparan primer yang mengelilingi bagian tengah inti besi, dan kumparan sekunder ditempatkan pada bagian luarnya. Seluruh komponen koil ini dirakit dan dilapisi dengan resin sintesis supaya tahan terhadap getaran mesin. Jenis ini populer karena strukturnya yang tahan lama dan kuat. Jika digunakan pada mesin bersilinder banyak, satu buah koil ini biasanya melayani dua busi, hal ini dikarenakan terdapat dua kabel tegangan tinggi dari kumparan sekunder.



Gambar 2. 3 *Moulded coil*

Sumber: *Honda (Acura) civic - EJ / EM1 - VTI (coupe)*. (2021).
https://acaparts.com.au/media/catalog/product/cache/1/image/800x800/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/I/C/IC613-1_14.jpg

2.2.3. Coil On Plug

Jenis *coil* ini memiliki bentuk seperti batang/ *stick*, sehingga disebut juga koil batang/ *stick coil*. Koil pengapian ini biasa digunakan pada kendaraan yang sudah menggunakan sistem pengapian DLI (*Distributor-less Ignition*). Satu *coil* ini hanya digunakan untuk satu busi. *Coil* ini memiliki bentuk yang kecil dan diletakkan langsung diatas lubang busi. Kelebihan dari tipe *coil* ini adalah tidak memerlukan kabel tegangan tinggi. Arus listrik yang mengalir masuk ke *coil* adalah arus tegangan rendah (12V) dan akan dinaikkan tegangannya pada masing-masing *coil* yang kemudian langsung diteruskan ke busi.s

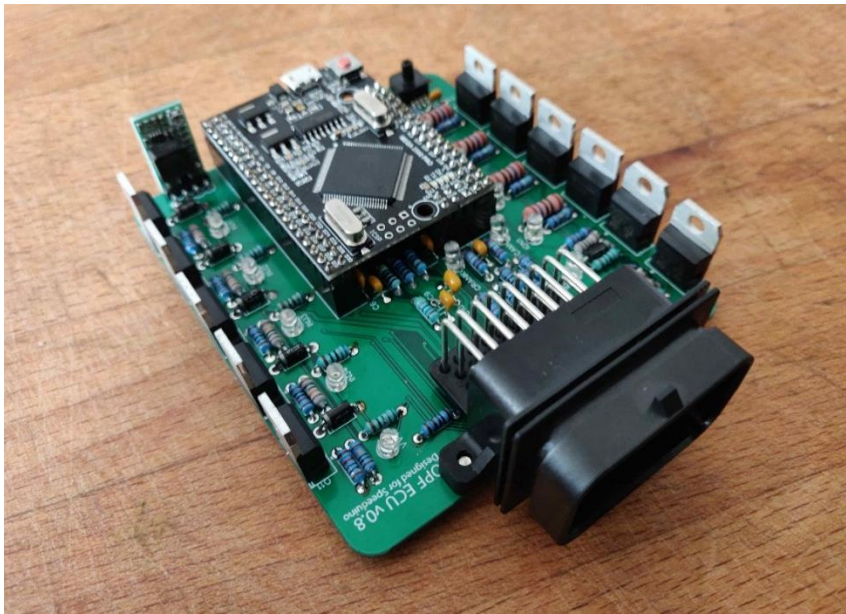


Gambar 2. 4 *Coil On Plug*

Sumber: *Apa fungsi ignition coil pada performa mesin mobil?* (2023).
<https://www.suzuki.co.id/news/ketahui-ini-fungsi-koil-mobil-dan-cara-kerjanya>

2.3 ECU Speeduino

Dalam proses konversi dari *single coil* menjadi *individual coil*, memerlukan berbagai penyesuaian. Salah satunya adalah dengan mengganti ECU standar dengan ECU *Standalone*. Hal ini dikarenakan ECU standar tidak memiliki kapabilitas untuk membagi listrik ke lebih dari satu *coil*. ECU Speeduino dipilih karena memiliki banyak opsi setelan ke berbagai parameter. Selain itu Speeduino memiliki harga yang relatif terjangkau jika dibandingkan ECU *standalone* yang beredar dipasaran. Speeduino merupakan alternatif ECU yang memiliki sifat *open source engine management* yang memanfaatkan sistem Arduino. (Purwanto, et al. 2023)



Gambar 2. 5 ECU Speeduino

Sumber: *Speeduino mini pro 34 AMP connector.* (2020).
<https://oshwlab.com/b.brazdziunas/speeduino-mimi-pro-34-amp-connector>

Dalam penggunaannya Speeduino ini dilengkapi dengan berbagai komponen, diantaranya:

2.3.1 Board Speeduino

Board ini adalah inti dari ECU Speeduino dan berisi semua *driver* dan sirkuit. *Board* ini bisa berbentuk salah satu *board* umum berkode V.04 atau *board* yang PNP (*plug and play*) pada model mobil tertentu.

2.3.2 Arduino

Arduino ini merupakan otak dari Speeduino yang berisi prosesor, memori, dan penyimpanan. Arduino ini dapat terhubung dengan *mainbokerenard* Speeduino. Arduino yang digunakan biasanya adalah Arduino Mega 2560, namun beberapa *board* seperti Teensy dan STM32 juga digunakan.

2.3.3 Firmware

Firmware merupakan sistem perangkat lunak yang berjalan di *board* Arduino dan mendukung proses operasinya. *Firmware* baru umumnya dirilis secara berkala sesuai dengan pembaruan, peningkatan kinerja, dan perbaikan bug. Pada penelitian ini Speeduino yang digunakan memiliki *board* yang bertipe V.04. Pada versi V.04 ini adalah *board* yang telah dikembangkan dari *board* V.03. Beberapa kelebihan dari *board* V.04 ini adalah biayanya yang lebih terjangkau karena dimensinya yang lebih kecil dan ada perubahan beberapa komponen. Fitur yang disediakan adalah 2 *output* untuk pengapian dan injektor, saluran *input* yang seluruhnya mencakup untuk CLT (*coolant temperature*), IAT (*intake air temperature*), TPS (*throttle position sensor*), dan O2 sensor. Fitur lainnya adalah opsi pemasangan VR *Conditioner* pada *input* cam dan *crank*, dapat dipasangkan MAP (*manifold absolute pressure*) sensor dan dapat dipasangkan modul *stepper* DRV 8825, 4 *output* cadangan medium-current (misalnya, *fuel pump*, *thermo fan*, *boost control*, vvt, dll.)

2.4 Sensor Putaran dan *Trigger Wheel*

Pada umumnya sensor yang digunakan untuk mendeteksi putaran suatu objek adalah sensor induktif. Kelebihan utamanya adalah sensor ini mempunyai tingkat akurasi yang tinggi pada rpm yang lebih tinggi tidak memerlukan tegangan *supply* dan biaya yang terjangkau dan mudah untuk dibuat (Östling, 2018). Sensor ini bekerja tanpa kontak pada objek dan berdasarkan cara kerja transformator. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi posisi serta kecepatan. Pada konstruksinya sensor ini menggunakan kumparan atau induktor. Sensor putaran dalam implementasinya pada kendaraan biasanya diletakkan pada poros engkol, *camshaft*, *wheel hub*, dan lain-lain. Sensor ini memiliki ketahanan yang baik, mempunyai keawetan, dan kemudahan saat pemasangan. Pada praktiknya sensor putaran ini dikombinasikan dengan *trigger wheel*.



Gambar 2. 6 Contoh sensor induktif (*Crank position sensor*)

Sumber: *Common symptoms of the crankshaft position sensor*. (2023). <https://www.innova.com/blogs/fix-advice/common-symptoms-of-the-crankshaft-position-sensor>

Trigger wheel memiliki berbentuk piringan lingkaran dengan gigi-gigi di sekelilingnya. Sensor diletakkan dekat dengan gigi-gigi tersebut untuk membaca *input* dari kemagnetan. Ketika magnet permanen dengan kekuatan yang cukup ditempatkan dekat dengan gigi. Magnet ini akan tarik-menarik dengan gigi karena kerenggegan dari pola feromagnetik. Gigi menjadi termagnetisasi dan kerapatan fluks magnet total antara magnet dan gigi meningkat (Östling, 2018).

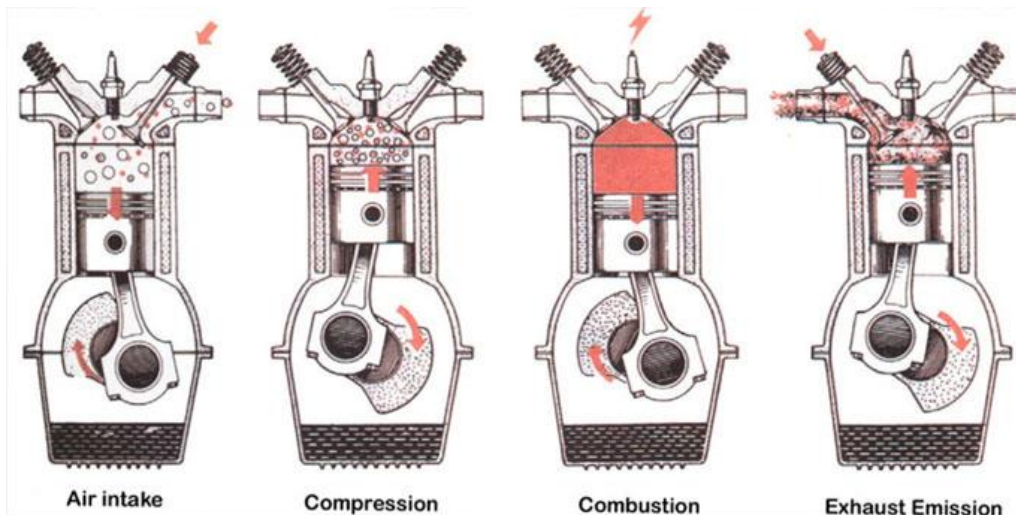


Gambar 2. 7 *Trigger wheel* pada *crankshaft*

Sumber: *Crank position sensor*. (2018). <https://www.efignition.com/c-3632495/crank-position-sensor/>

2.5 Pembakaran dan Emisi pada Motor Bakar

Motor bakar berbahan bakar bensin dikenal dengan *Spark Ignition* (SI) engine karena proses penyalan bahan bakar dibantu dengan busi (*spark*). Pada SI engine (selain *direct injection*), bahan bakar sebelumnya dicampur dengan udara dan dimasukkan ke ruang bakar melalui intake manifold. Campuran yang mudah terbakar ini dikompresikan oleh piston dan mencapai temperatur dan tekanan yang tinggi. Ketika piston berada pada dekat puncak langkah kompresi (TMA atau titik mati atas), pembakaran diawali dengan busi dan campuran bahan bakar-udara yang terbakar menyebar didalam silinder menghasilkan gas dengan tekanan dan suhu yang lebih tinggi. (McAllister et al, 2011) Hasil pembakaran ini menimbulkan ekspansi yang menghasilkan gaya langsung pada piston. Dengan ini akan menghasilkan kerja mekanis yang dapat berguna. Secara umum mesin *spark ignition* dapat memproduksi daya yang tinggi pada rentang kecepatan yang luas. Namun mesin ini membutuhkan *throttle* untuk mengatur *output* daya. Mesin ini membutuhkan campuran udara dan bahan bakar mendekati stoikiometri untuk memastikan penyalan dapat berhasil dan berkelanjutan.



Gambar 2.8 Proses pembakaran motor 4 langkah

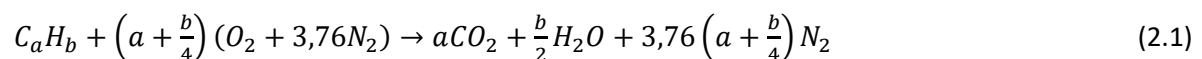
Sumber: *Pengertian mesin 4 tak dan cara kerjanya.* (2018).
<https://www.teknikmart.com/blog/pengertian-mesin-4-tak-dan-cara-kerjanya/>

Pada proses pembakaran secara umum dapat berjalan ketika ada bahan bakar (hidrokarbon) dan udara (oksigen) diberi pemantik dan akan menghasilkan energi kalor. Pada proses pembakaran udara dianggap mengandung 21% Oksigen dan 79% Nitrogen, sehingga pada setiap mol Oksigen di udara terdapat:

$$\frac{1 - 0.21}{0.21} = 3.76$$

Sehingga pada setiap mol Oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi Hidrokarbon perlu ditambah 3.76 mol Nitrogen

Dalam pembakaran sempurna (Stoikiometri), semua Karbon dalam bahan bakar membentuk Karbondioksida (CO_2) dan semua Hidrogen membentuk air (H_2O). Setiap mol Oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi Hidrokarbon perlu ditambah dengan 3.75 mol Nitrogen, sehingga persamaan pembakaran stoikiometri dapat diuraikan sebagai berikut:



Dimana $\left(a + \frac{b}{4}\right)$ adalah koefisien Stoikiometri. Pada persamaan, komponen-komponen di ruas kiri adalah reaktan dan di sebelah kanan adalah produk. Untuk dapat menyelesaikan persamaan tersebut, digunakan persamaan Kesetimbangan Atom dari setiap elemen dalam reaktan dan produk.

2.6 AFR

Pada motor *Spark Ignition* (SI) dikenal istilah AFR. Udara dan variasi laju bahan bakar menghasilkan rasio antara udara dan bahan bakar yang digunakan sehingga dikenal sebagai *air-fuel ratio* (Bow, et al 2021). Untuk AFR stoikiometri bensin adalah sekitar 14.7. Untuk kebanyakan bahan bakar hidrokarbon, membutuhkan 14 sampai 20 kg udara untuk membakar 1 kg bahan bakar secara sempurna. AFR dapat diuraikan dengan parameter untuk perbandingan campuran udara dengan bahan bakar sebagai berikut:

$$AF = \frac{m_{ud}}{m_{bb}} \quad (2.2)$$

Dimana:

AF : Rasio udara dan bahan bakar

m_{ud} : Massa udara

m_{bb} : Massa bahan bakar

Pada praktiknya, bahan bakar sering dibakar dengan jumlah udara yang beda dari rasio stoikiometri. Ketika udara lebih sedikit dari jumlah stoikiometri yang digunakan maka disebut campuran kaya. Jika udara yang digunakan berlebih, maka campuran tersebut adalah campuran miskin (McAllister et al, 2011). Untuk menormalisasi AFR aktual berdasarkan stoikiometri, akan menghasilkan rasio ekuivalensi yang disimbolkan ϕ

$$\phi = \frac{f}{f_s} = \frac{m_{as}}{m_a} \quad (2.3)$$

Subskrip s merupakan nilai dari keadaan stoikiometri. Ketika ϕ kurang dari 1 adalah kondisi campuran miskin, ketika $\phi = 1$ adalah campuran stoikiometri, dan ketika ϕ lebih dari 1 adalah kondisi campuran kaya. Variabel alternatif berdasarkan AFR yang sering digunakan oleh insinyur adalah lambda (λ). Lambda merupakan rasio perbandingan antara AFR aktual dan AFR stoikiometri (McAllister et al, 2011). Lambda dapat didefinisikan sebagai berikut:

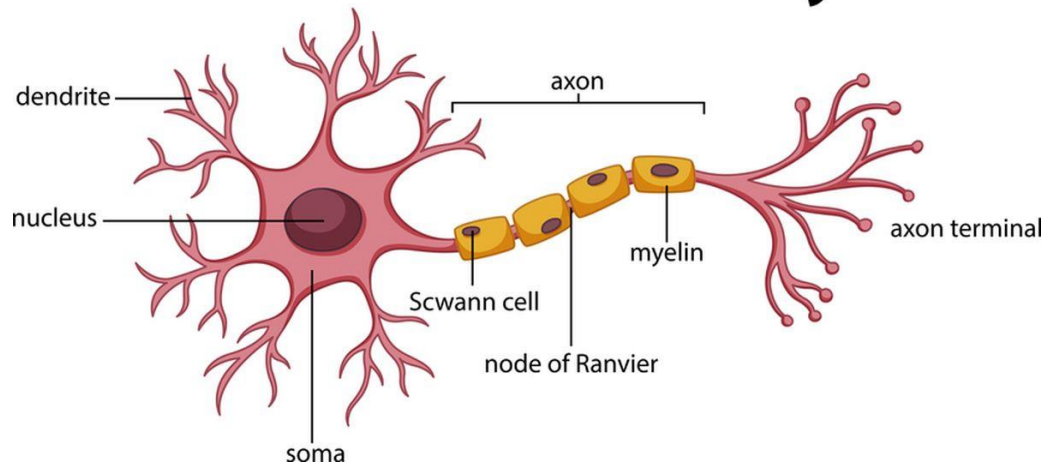
$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_s} = \frac{1/f}{1/f_s} = \frac{1}{f/f_s} = \frac{1}{\phi} \quad (2.4)$$

Nilai lambda pada campuran stoikiometri adalah 1. Untuk campuran kaya, lambda bernilai kurang dari 1, dan untuk campuran miskin lambda lebih dari 1.

2.7 Metode Artificial Neural Network (ANN)

ANN adalah nama yang diberikan pada sistem karena meniru cara kerja jaringan saraf pada manusia. Pada jaringan saraf terdiri dari *Dendrites*, *Nucleus* dan *Axon*. Fungsi *dendrid* adalah menerima rangsangan dari tubuh manusia. *Nucleus* kemudian mengolah rangsangan tersebut dan hasilnya dikeluarkan melalui *Axon* menuju *Input Dendrites* dari sel saraf tiruan yang lain untuk diproses kembali.

Neuron Anatomy

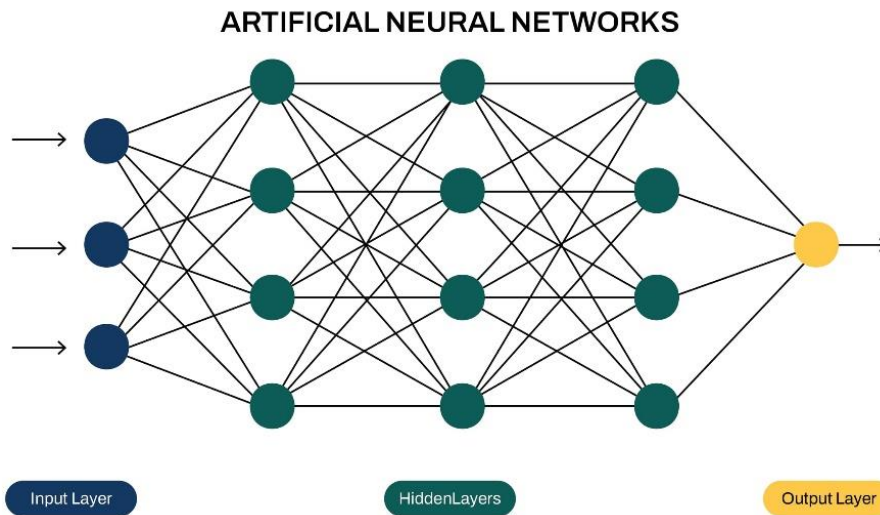


Gambar 2. 9 Sel saraf manusia

Sumber: *Apa fungsi akson atau neurit dalam sistem saraf tubuh?*. (2022). <https://www.detik.com/edu/detikpedia/d-6378111/apa-fungsi-akson-atau-neurit-dalam-sistem-saraf-tubuh>

Kemampuan belajar sel saraf ini memberi keuntungan dalam memecahkan masalah kompleks yang solusi analitik dan numeriknya sulit didapat. (Prathama et al, 2017). *Dendrites* ditirukan sebagai saluran masukan *input*. Sedangkan *Nucleus* ditirukan sebagai sebuah pemroses data *input* yang sudah dikalikan dengan bobotnya masing-masing. *Nucleus* kemudian akan mengaktifasi *Axon* yang ditirukan sebagai *output*. Jaringan saraf yang menirukan satu sel saraf disebut *single perceptron*. *Perceptron* tersebut terdiri dari beberapa lapis (*layer*). Layer tersebut terdiri dari *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Layer input* dapat diisi dengan data yang akan diolah. Dalam kasus tertentu *hidden layer* bisa sangat banyak dan disebut multi *perceptron*. Semakin banyak *hidden layer* akan membuat hasil *output* semakin akurat. Namun harus dikompensasi dengan data *input* yang sangat banyak.

Pada penelitian ini ANN berguna untuk memetakan hubungan antara *ignition timing* dan AFR terhadap hasil emisi HC dan CO. Penerapan ANN berguna untuk mendapatkan nilai *error*. Nilai *error* yang dihasilkan bernama *Mean Square Error (MSE)*. MSE merupakan kuadrat dari nilai rata-rata *error*.

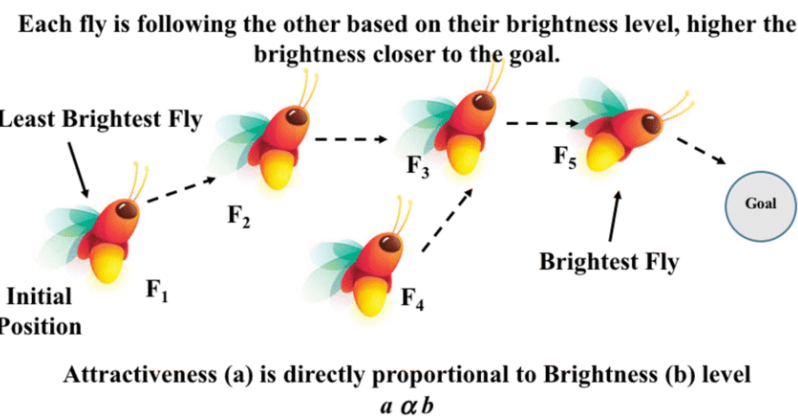


Gambar 2. 10 Skema layer pada *Neural Network*

Sumber: *Mengenal lebih jauh tentang Neural Network*. (2023). <https://pacmann.io/blog/neural-network>

2.8 Metode *Firefly Algorithm (FA)*

Firefly Algorithm adalah algoritma *heuristic* yang diinspirasi dari perilaku sosial kunang-kunang di alam. Inti dari metode FA ini adalah menganggap semua sisi di suatu ruang adalah kunang-kunang dan menggunakan karakteristik bahwa kunang-kunang yang kuat akan menarik kunang-kunang yang lemah (Liu et al, 2020).



Gambar 2. 11 Diagram cara kerja metode FA

Sumber: Sharma, K., Doriya, R., (2020). *Path planning for robots: an elucidating draft*. p. 10.

Ada aturan yang dianggap ideal, yaitu semua kunang-kunang adalah unisex dimana semua individu dapat tertarik pada kunang-kunang lain tanpa melihat jenis kelamin. (Larson, 2018). Ketertarikan antar kunang-kunang sesuai dengan proporsi keterangan cahaya yang dihasilkan, kunang-kunang yang kurang terang akan mendekat ke kunang-kunang yang lebih terang, namun intensitas cahaya akan berkurang seiring dengan bertambahnya jarak satu sama lain. Jika tidak ada kunang-kunang yang lebih terang maka kunang-kunang akan bergerak secara acak.

Kecerahan pada kunang-kunang akan ditentukan oleh fungsi tujuan dan *attractiveness* sebanding dengan intensitas cahaya. Dengan ini kunang-kunang yang cahayanya kurang terang akan bergerak ke arah kunang-kunang yang cahayanya lebih terang. Proses pergerakan kunang-kunang akan terkait dengan tiga parameter yaitu *attractiveness*, *randomize*, dan *absorption*. Parameter daya tarik akan bergantung pada tingkat keterangan yang dihasilkan kunang-kunang melalui fungsi eksponensial. Ketika parameter ini diatur dengan nilai nol maka akan terjadi pengacakan variabel sesuai dengan parameter yang menghasilkan angka acak antara nol hingga satu. Hasil penilaian akan berbeda tergantung dari jarak antar satu kunang-kunang dengan yang lainnya. Intensitas cahaya merepresentasikan kualitas solusi berdasarkan fungsi objektif, sedangkan daya tarik berbanding terbalik dengan jarak di antara kunang-kunang, karena cahaya melemah seiring bertambahnya jarak. Intensitas cahaya dilambangkan sebagai nilai *fitness* atau kualitas solusi dari kunang-kunang dalam ruang pencarian. Semakin tinggi intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sebuah kunang-kunang, semakin baik solusi yang direpresentasikannya berdasarkan fungsi objektif yang digunakan.

2.9 Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Algoritma PSO merupakan sebuah teknik optimasi yang berbasis populasi untuk mencari solusi optimal menggunakan populasi dari partikel itu sendiri. PSO didasarkan pada ide bahwa setiap kerumunan partikel merupakan sebuah solusi dari ruang solusi (Pambudi et al, 2019). PSO termasuk metode metaheuristik yang melakukan pencarian solusi berdasarkan populasi besar (kawan burung, ikan) yang dapat saling mempengaruhi antar individu. Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku sosial kawan burung atau ikan saat mencari makanan, di mana anggota kelompok bekerja sama dengan berbagi informasi untuk menemukan lokasi terbaik. Dalam PSO, setiap individu dalam populasi disebut partikel, yang mewakili solusi potensial dalam ruang pencarian. Setiap partikel memiliki posisi, kecepatan, dan nilai *fitness* yang mencerminkan kualitas solusinya. Metode PSO mencari solusi dengan memaksimalkan *fitness function* yang ingin diminimalkan atau dimaksimalkan.

Proses optimasi PSO melibatkan *individual (particle)* dan setiap *particle* memiliki posisi dan *velocity*. Setiap *particle* memiliki *best position (Pbest)* untuk masing-masing. Pergerakan *particle* dipengaruhi oleh pergerakan kelompok dengan *global best (Gbest)* sebagai solusi terbaik yang

dicapai oleh kelompok. Setiap *particle* akan mempunyai posisi dan *velocity* awal. Kemudian posisi sosial dipengaruhi oleh posisi *global best* kelompok. Sedangkan posisi *personal best* akan dipengaruhi oleh *cognitive aspect*. *Cognitive aspect* dan *social* akan menghasilkan resultan baru yaitu *new particle velocity*. Pembaruan kecepatan partikel dipengaruhi oleh faktor inersia, pengaruh individu, dan pengaruh sosial, dengan elemen acak untuk memastikan keragaman gerakan. Posisi partikel kemudian diperbarui menggunakan kecepatan baru tersebut. Algoritma PSO diulang hingga tercapai kriteria berhenti, seperti jumlah iterasi maksimum.

2.10 Perkembangan Penelitian

Untuk dapat bekerja mesin membutuhkan 3 elemen utama yang harus terpenuhi. Yang pertama ada bahan bakar, pengapian, dan kompresi. Dalam penelitian ini, penulis menaruh perhatian terhadap 2 elemen yaitu pengapian dan bahan bakar yang dalam kasus ini adalah campuran bahan bakar dengan udara (AFR). Salah satu bagian penting lainnya dalam proses pembakaran adalah sistem pengapian (*ignition*). Pada *piston engine*, terdapat *spark plug* pada celah ruang bakar yang dapat memercikkan bunga api yang kemudian membakar campuran bahan bakar dan udara pada suatu titik tertentu yang diinginkan dalam suatu siklus pembakaran. (Cahyo & Fauzi, 2020)

- a. Adnan Surbakti pada tahun 2021 melakukan studi eksperimental pengaruh perubahan *ignition timing* terhadap emisi gas buang pada mesin 1800cc. Penelitian ini menyatakan hasil emisi gas buang CO yang paling rendah terdapat pada pengapian 10° BTDC 0,80% dan yang tertinggi terdapat pada saat pengapian 5° ATDC 3,55% dengan menggunakan bahan bakar pertamax sedangkan menggunakan bahan bakar premium emisi gas buang CO yang terendah terdapat pada 10° BTDC 1,09% dan yang tertinggi terdapat pada saat pengapian 5° ATDC 4,40% dan Tingkat emisi gas buang HC yang paling rendah didapatkan pada saat pengapian 10° BTDC 25 ppm dan yang tertinggi terdapat pada saat pengapian 5° ATDC 112 ppm dengan menggunakan bahan bakar pertamax sedangkan menggunakan bahan bakar premium emisi gas buang CO yang terendah terdapat pada 10° BTDC 34 ppm dan yang tertinggi terdapat pada saat pengapian 5° ATDC 135 ppm.
- b. Penelitian yang dilakukan oleh Ega Firina, Faisal Ismet, dan M. Nasir pada tahun 2015, meneliti pengaruh saat pengapian terhadap kandungan emisi gas buang pada Toyota Kijang 7K. penelitian ini menyatakan bahwa dengan memajukan beberapa derajat maksimal 2° (dari awal pengapian 10°) dapat menurunkan emisi gas buang CO sebesar 2,83% dan HC mengalami penurunan sebesar 437 ppm.
- c. Penelitian yang dilakukan Banglin Deng dkk. tahun 2019, yang meneliti tentang efek dari AFR terhadap emisi CO dan NOx menyatakan bahwa emisi CO turun signifikan ketika AFR diubah dari

campuran kaya ke miskin. Khususnya pada beban penuh, emisi CO turun 4 kali lipat ketika lambda berubah dari 0,85 ke 1,1. Dan terus turun hingga hanya sekitar sepersepuluh pada $\lambda=1,2$. Pada perluasan rentang *lean burn* tidak akan berlanjut menurunkan emisi NOx, namun manfaat yang lebih besar adalah penurunan CO.

d. Penelitian yang dilakukan oleh Shamil Ahmed Flamarz Al-Arkawazi, meneliti analisa relasi antara AFR, lambda (λ) dan persentaseemisi knalpot pada kendaraan bensin, menyatakan ketika lambda meningkat, emisi karbon monoksida (CO) menurun, seiring dengan ketersediaan oksigen (O_2) membantu pembakaran bahan bakar yang lebih baik dan mengurangi emisi CO yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Pada pembakaran sempurna, bahan bakar hanya menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Ketika lambda meningkat, hidrokarbon (C_xH_y) semakin menurun, dimana dengan ketersediaan oksigen (O_2) membantu pembakaran bahan bakar yang lebih baik dan mengurangi emisi hidrokarbon (C_xH_y)

e. Jurnal yang ditulis pada tahun 2024 oleh Pengfei Zhang, Fan Kong, dan Lu Hai yang berjudul "*Strength Prediction of Smart Cementitious Materials Using a Neural Network Optimized by Particle Swarm Algorithm*", menjelaskan metode *Neural Network* yang dioptimalkan dengan *particle swarm algorithm* yang digunakan untuk memprediksi kekuatan bahan *smart cementitious*. *Particle Swarm Optimization* digunakan untuk menentukan bias dan bobot awal dari *Neural Network* dalam algoritma ini. 2 jenis bahan *smart cementitious* yang diteliti adalah beton yang dicetak 3D dan komposit *cementitious* yang diperkuat dengan *nanoparticle graphene*. Dengan menggunakan metode PSO-BPNN dan data yang dikumpulkan dari makalah yang ada, model prediksi sifat mekanik bahan tersebut dapat dikembangkan. Oleh karena itu, model prediksi kinerja yang handal dan kuat dapat digunakan untuk material *smart cementitious*.

f. Penelitian yang dilakukan pada tahun 2021 oleh Hai Bang Ly, May Huu Nguyen, dan Bihn Thai Pham yang berjudul "*Metaheuristic optimization of Levenberg-marquardt-based artificial Neural Network using Particle Swarm Optimization for prediction of foam concrete compressive strength*", menjelaskan bahwa beton berbusa (*Foamed Concrete/FC*) memiliki aplikasi yang menguntungkan dalam teknik sipil seperti pengurangan beban mati, kontribusi terhadap konservasi energi dan penurunan biaya maupun tenaga kerja. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menggunakan optimasi metaheuristik berbasis *Particle Swarm Optimization* untuk mengoptimalkan parameter dan struktur *Neural Network* berbasis Levenberg-Marquardt untuk memprediksi foamed concrete yang cepat dan akurat. Untuk itu diperlukan pengumpulan data eksperimen sebanyak 375 pada FC. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma PSO-ANN dapat memprediksi nilai R tertinggi hingga 0,959 dengan struktur yang dioptimalkan.