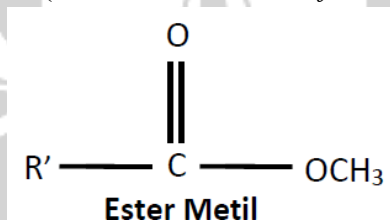


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

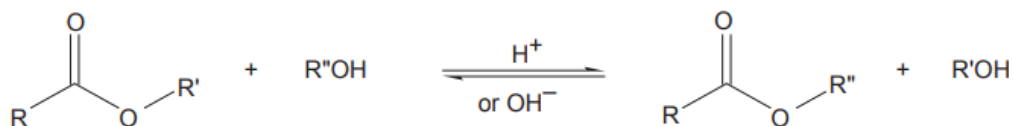
Biodiesel adalah mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang dihasilkan dari minyak nabati (minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak kelapa, minyak rapa, dan lain-lain), minyak jelantah, atau lemak hewani (Hassan, et al., 2022). Biodiesel merupakan produk yang diperoleh jika suatu minyak nabati atau lemak hewani direaksikan secara kimia dengan alkohol, dengan bantuan katalis, untuk memproduksi suatu senyawa baru yang dikenal sebagai suatu ester alkil asam lemak. Biodiesel mempunyai suatu bilangan setana tinggi, sifat lubrisitas yang baik, kandungan energi yang dapat dibandingkan dengan minyak diesel konvensional, dan mudah dicampurkan dengan minyak diesel (solar) dalam semua rentang komposisi.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dan terbarukan sebagai pengganti minyak diesel yang saat ini menarik perhatian berbagai negara di dunia termasuk Indonesia. Biodiesel bukan suatu bahan bakar baru secara teknologi karena pada tahun 1912, Dr. Rudolf Diesel sudah mengembangkan mesin diesel dengan menggunakan minyak kacang. Dalam aplikasinya biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni atau campuran dengan bahan bakar minyak (diesel) solar tanpa memodifikasi mesin diesel. Pemakaian biodiesel sangat aman, tidak toksis, *biodegradable* dan mudah digunakan. Apabila digunakan dengan jumlah kecil 1% - 2% dapat berfungsi sebagai aditif pelumas dan hal ini sangat penting untuk bahan bakar diesel yang mempunyai kandungan sulfur sangat rendah, 15 ppm sulfur (ULSD, *ultra low sulfur diesel*).



Gambar 1. Struktur Molekul Biodiesel

Biodiesel biasanya disintesis melalui reaksi *transesterifikasi*. Reaksi tersebut dapat dikatalisis oleh asam atau basa, dan merupakan reaksi kesetimbangan ke arah yang diinginkan (McCarthy, et al., 2015).



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi Biodiesel

Sumber bahan baku untuk pembuatan biodiesel dipilih sesuai dengan ketersediaannya di suatu daerah atau negara. Setiap sumber asam lemak dapat digunakan untuk membuat biodiesel. Minyak nabati dapat berasal dari tanaman kelapa sawit, kelapa, kacang kedelai, kacang

tanah, jagung, bunga matahari, jarak, alpukat dll. Harga minyak nabati yang dapat dimakan mempunyai harga yang sangat tinggi maka selain minyak nabati yang berasal dari tanaman-tanaman tersebut, sebagai alternatif dapat juga digunakan lemak hewani dan minyak goreng bekas (jelantah).

Secara kimiawi, sumber bahan baku (minyak nabati) dari sumber yang berbeda mempunyai komposisi asam lemak yang berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Perbedaan asam-asam lemak tersebut berkaitan dengan panjang rantai, derajat ketidakuatan atau adanya fungsi kimia lain.

Tabel 2. Prosentase Komposisi Asam Lemak dari beberapa Minyak Nabati

No	Minyak Nabati	Asam Palmitat	Asam Stearat	Asam Palmitoleat	Asam Oleat	Asam Linoleat	Asam Risinat	Asam lainnya
1	Sawit	32,8	4,4	0,3	45,7	12,9	0,9	-
2	Kelapa	5,0	3,0	-	6,0	-	-	65,0
3	Kacang tanah	8,5	6,0	-	51,6	26,0	-	-
4	Minyak kapas	28,6	0,9	0,1	13,0	57,2	-	0,2
5	Jagung	6,0	2,0	-	44,0	48,0	-	-
6	Kedele	11,0	2,0	-	20,0	64,0	-	3,0
7	Biji matahari	6,4	2,9	0,1	17,7	72,8	-	0,1
8	Castor	-	3,0	3,0	3,0	1,2	89,5	0,3
9	Rapeseed	3,5	0,9	0,1	54,1	22,3	-	9,1
10	Tallow (lemak hewan)	29,0	24,5	-	44,5	-	-	-
11	Minyak Olive	14,6	-	-	75,4	10,0	-	-

Bahan Baku Biodiesel dapat dikategorikan menjadi 3 generasi (Gaur et al, 2022):

1. Generasi pertama: Biodiesel dari bahan baku yang dapat dimakan seperti minyak yang berasal dari Beras, Rapeseed, jarak, Kedelai, Kelapa/kopra, Jagung, Kelapa Sawit, Sawi, Zaitun, dan sebagainya
2. Generasi Kedua: Biodiesel dari bahan baku yang tidak dapat dimakan seperti Minyak mimba, minyak Karanja, minyak jarak pagar, minyak nagchampa, minyak karet, minyak biji karet, minyak sultan champa, minyak Mahua indica, dll
3. Generasi ketiga: Biodiesel berasal dari bahan baku minyak ganggang dan Limbah Minyak Goreng (Waste Cooking Oil/WCO), plastik, ban dll

Biodiesel WCO dalam aplikasinya biasanya dicampur dengan minyak diesel. Notasi pencampurannya adalah BXX. Dimana “XX” melambangkan prosentase biodiesel yang dicampurkan dalam minyak diesel. Sebagai Contoh B10 berarti biodiesel WCO yang dicampurkan dalam minyak diesel adalah 10%.

Biodiesel memiliki properties sebagai berikut. (Selva Rex et al, 2023):

Tabel 3. Properti Biodiesel vs Diesel

Fuel	Diesel	Biodiesel
------	--------	-----------

Flash Point ($^{\circ}\text{C}$)	72	158
Viskositas (cSt) [40°C]	3,2	4,2
Destilasi T50 ($^{\circ}\text{C}$)	279	320
Titik didih akhir ($^{\circ}\text{C}$)	373,6	340,2
CFPP ($^{\circ}\text{C}$)	-14	-5
Kandungan Sulfur (wt%)	<0,04	<0,04
Densiti (Kg/m ³)	830	880,3
Lower Heating Value (MJ/Kg)	43	38,5
Cetane Number	51.7	54

Beberapa parameter penting properti Biodiesel antara lain:

1. Massa Jenis
Massa jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan massa bahan bakar minyak pada temperature tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama.
2. Viskositas
Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Viskositas dapat dikatakan kemampuan aliran bahan bakar. Semakin tinggi viskositas bahan bakar maka akan semakin kental dan semakin sulit dialirkan. Viskositas suatu bahan bakar menjadi parameter yang sangat penting karena akan berpengaruh pada kinerja injector mesin.
3. Titik Tuang (*Pour Point*)
Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan untuk persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar.
4. Titik Nyala (*Flash Point*)
Titik nyala merupakan angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dapat terbakar bila pada permukaan minyak tersebut didekatkan dengan nyala api.
5. Nilai Kalor
Nilai kalori adalah angka yang menyatakan jumlah panas/ kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara/oksigen
6. *Cetane Number*
Cetane number atau bilangan *cetane* adalah sebuah angka yang menentukan titik bakar dari bahan bakar. Angka ini diperlukan sebagai batasan pemakaian bahan bakar terhadap mesin. Apabila angka *cetane* yang dipergunakan tidak sesuai dengan rancangan mesin, akan ada masalah sebagai berikut jika terlalu tinggi, akan ada efek panas yang berlebihan terhadap mesin sehingga komponen mesin cepat rusak dan jika terlalu rendah, mengakibatkan adanya gejala ngelitik/*knocking*, sehingga opasitas gas buang akan berlebihan karena pembakaran mesin tidak terjadi dengan sempurna dan asap gas buang mesin menjadi hitam pekat.
7. Gliserol
Gliserol Terikat, yaitu gliserol dalam bentuk mono-, di-, dan trigliserida yang tersisa dari proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel. Kandungan gliserol terikat yang berlebih dapat menimbulkan masalah ketika berada di tangki penyimpanan, yaitu gliserol ini akan terpisah dari biodiesel dan mengendap di dasar tangki akibat perbedaan densitas. Pada

sistem bahan bakar, kandungan gliserol terikat khususnya monogliserida berpotensi menyebabkan masalah *fouling* pada injektor dan berperan dalam pembentukan deposit pada *nozzle*, piston, dan katup/*valve*

8. Kadar air

Air dalam bahan bakar disinyalir dapat mengakibatkan kerusakan fasilitas dan sistem bahan bakar mesin. Air juga dapat mendorong terjadinya korosi pada tangki penyimpanan, tangki bahan bakar, dan peralatan yang ada di sekitar sistem ruang bakar mesin. Keberadaan air juga merupakan media yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroba dalam sistem penyimpanan. Untuk mengetahui kandungan air dalam biodiesel, dapat dilakukan pengujian berdasarkan metode ASTM D 6304

9. Stabilitas oksidasi

Secara kimiawi biodiesel lebih mudah mengalami degradasi oksidatif dibandingkan minyak solar. Hal ini berkaitan dengan tingginya kandungan senyawa poly-ester tak jenuh yang mengandung banyak ikatan rangkap dan rentan terhadap oksidasi. Rendahnya nilai stabilitas oksidasi dapat menyebabkan permasalahan pada elastomer khususnya pada sistem saluran bahan bakar.

10. Cold-Filter Plugging Temperatur (CFPP)

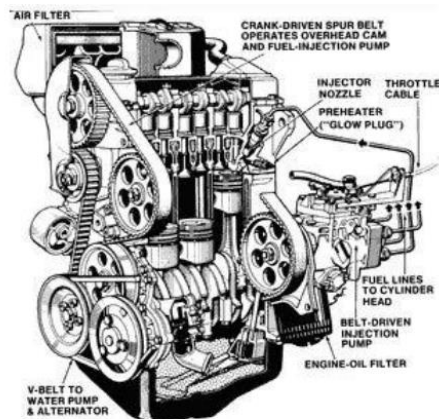
CFPP didefinisikan sebagai temperatur terendah dari biodiesel, dimana biodiesel masih dapat mengalir melalui filter terstandarisasi dalam 60 detik sesuai ASTM D 6371

2.2 Mesin Diesel

Motor diesel disebut juga dengan motor penyalan kompresi (*Compressed Ignition Engine*) karena penyalan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat dari proses kompresi.

Sifat dasar yang dimiliki oleh motor diesel antara lain adalah :

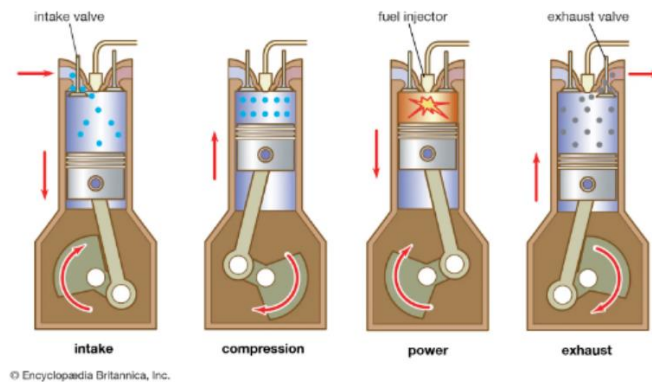
- Bekerja dengan perbandingan kompresi tinggi (15-30:1)
- Mempunyai konstruksi motor yang kokoh
- Mempunyai nilai Air Fuel Ratio (AFR) yang cukup tinggi
- Mempunyai efisiensi penggunaan kalor yang tinggi



Gambar 3. Mesin Diesel (sumber: Lemigas ESDM)

1.2.1 Prinsip Kerja Mesin Diesel

Pada umumnya mesin diesel bekerja sesuai dengan tahapan yang dapat dijelaskan dengan Gambar 4. berikut:



Gambar 4. Siklus kerja Mesin Diesel (sumber: britanica.com)

Berikut tahapan kerjanya:

1. Tahap Hisap

Pada tahap ini piston bergerak menuju Titik Mati Bawah (TMB) menyebabkan tekanan dalam silinder menjadi lebih rendah dibanding tekanan luar sehingga menyebabkan katup *intake* terbuka dan udara terhisap masuk dalam silinder.

2. Tahap Kompresi

Selanjutnya setelah melewati TMB piston terus bergerak sampai menuju hampir Titik Mati Atas (TMA). Pada tahap ini udara didalam silinder mengalami pemampatan (kompresi) sampai dengan 40 bar sehingga menyebabkan tekanan dan temperatur dalam silinder menjadi tinggi, melebihi titik nyala bahan bakar.

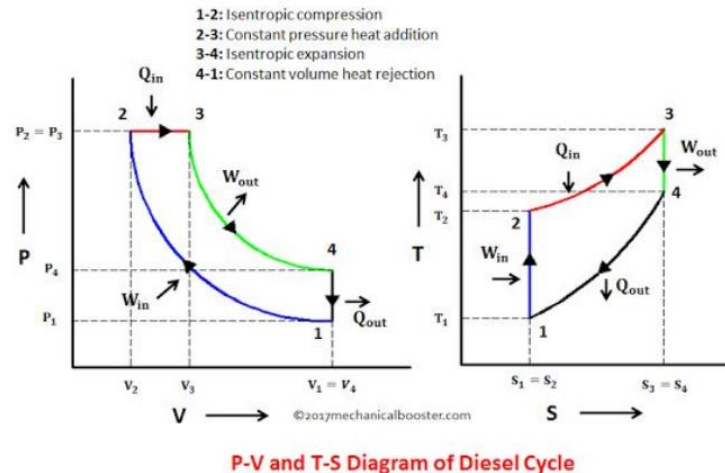
3. Tahap Pembakaran

Pada tahap ini bahan bakar disemprotkan melalui *injector* dan selanjutnya terbakar akibat udara yang bertekanan dan memiliki temperatur tinggi

4. Tahap Pembuangan

Akibat pembakaran yang terjadi pada tahap 3, piston kembali bergerak menuju TMB dan mengakibatkan katup *outlet* terbuka untuk membuang hasil pembakaran. Selanjutnya siklus kembali dari tahap 1 dan seterusnya.

Secara termodinamika maka dapat digambarkan sesuai Gambar 5:



Gambar 5. Siklus Termodinamika Mesin Diesel (sumber: mechanicalbooster.com)

Tahap 1-2 (W_{in}): Langkah kompresi, P bertambah, V tetap (isentropic)

Tahap 2-3 (Q_{in}): Langkah pembakaran, P tetap (isobarik)

Tahap 3-4 (W_{out}): Langkah kerja, P bertambah, V tetap (isentropic)

Tahap 4-1 (Q_{out}): Langkah pengeluaran kalor sisa, V tetap (isokhorik)

1.2.2 Parameter Kinerja Mesin Diesel

Beberapa parameter yang biasa digunakan untuk mengukur kinerja mesin diesel antara lain:

a. *Break Power (BP)*

adalah ukuran daya yang dihasilkan oleh mesin atau motor yang tersedia untuk melakukan pekerjaan yang berguna, biasanya diukur pada poros *output* mesin. BP ini mewakili daya aktual yang dihasilkan oleh mesin, dikurangi kerugian akibat gesekan, panas, atau faktor lainnya. BP adalah ukuran penting dalam mengevaluasi kinerja mesin dan motor.

b. *Break Spesific Fuel Consumption (BSFC)*

Adalah ukuran efisiensi bahan bakar mesin. Hal ini didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh sebuah mesin per unit daya yang dihasilkan. BSFC biasanya dinyatakan dalam satuan massa (seperti gram atau pound) bahan bakar per unit daya (seperti kilowatt-jam atau tenaga kuda-jam). Nilai BSFC yang lebih rendah menunjukkan efisiensi bahan bakar yang lebih baik, yang berarti mesin dapat menghasilkan lebih banyak tenaga dengan menggunakan lebih sedikit bahan bakar.

c. *Break Thermal Efficiency (BTE)*

Adalah ukuran seberapa efektif mesin mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi kerja mekanis yang berguna. BTE ini adalah rasio output kerja mesin terhadap input panas dari bahan bakar. Dengan kata lain, BTE menghitung seberapa efisien mesin mengubah energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik. BTE adalah ukuran kinerja penting untuk mengevaluasi efisiensi keseluruhan mesin..

Tabel 4 Parameter Kinerja dan Emisi Engine berbahan bakar biodiesel WCO (Roopesh et al, 2022)

Parameter	Sub Parameter	Biodiesel vs Diesel	Keterangan
Kinerja	BSFC		Nilai kalor yang rendah, density dan viskositas yang tinggi menyebabkan konsumsi bbm lebih banyak pada daya yang sama
	BTE		Nilai kalor rendah dan density yang tinggi biodiesel berpotensi menyebabkan pembakaran tidak optimal
	BP		Nilai kalor yang rendah sehingga mengakibatkan daya mesin lebih rendah
Emisi	CO ₂		Kandungan oksigen pada biodiesel yang bereaksi dengan carbon yang tidak terbakar menyebabkan peningkatan emisi CO ₂
	CO		Tingginya kandungan oksigen dan rendahnya carbon pada biodiesel → pembakaran Sempurna → menurunkan emisi CO
	Nox		Tingginya kandungan oksigen Biodiesel → Peningkatan temperature silinder → emisi NOx lebih tinggi
	HC		Nilai cetane dan kandungan oksigen yang tinggi menyebabkan emisi HC menurun

1.2.3 Pengaruh *nano particle* ZnO terhadap Kinerja dan Emisi Mesin Diesel

Menurut Modi et.al, 2021 penambahan *nano particle* ZnO berpengaruh terhadap properti bahan bakar, kinerja mesin dan emisi. Berikut adalah beberapa keuntungannya antara lain:

- Penambahan *nano particle* meningkatkan karakteristik bahan bakar secara signifikan yaitu menurunkan viskositas kinematic, meningkatkan flash point, cetane number dan nilai kalor
- Nano particle* meningkatkan kinerja mesin dan pembakaran secara signifikan, misalnya menurunkan BSFC dan meningkatkan BTE
- Penambahan *nano particle* pada biodiesel dapat meningkatkan properti pengapian, evaporasi yang lebih cepat, oksigen content yang lebih banyak, meningkatkan cetane number dan meningkatkan tekanan silinder
- Nano particle* berperan sebagai katalis sehingga membuat pembakaran lebih sempurna dan menurunkan emisi CO, asap dan PM.

2.3 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial neural network merupakan salah satu algoritma *machine learning* yang meniru cara kerja otak manusia. ANN pertama kali ditemukan oleh Warren MacCulloch bersama dengan Walter Pitts pada tahun 1943.

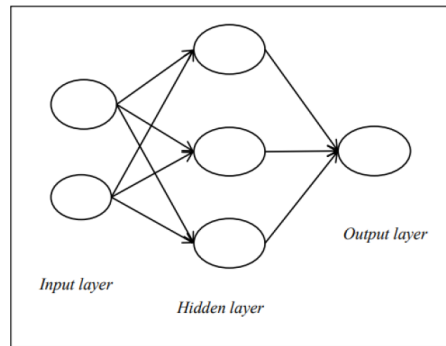
Artificial Neural Network merupakan suatu model matematis umum yang terbentuk dari logika manusia atas dasar asumsi sebagai berikut:

- Neuron sebagai elemen sederhana yang digunakan untuk memproses informasi.

2. Antar neuron terdapat penghubung sebagai pengantar sinyal.
3. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot berbeda akan diproses dengan sinyal yang terhubung.
4. Setiap neuron memiliki fungsi aktivasi untuk menentukan sinyal keluarannya.

2.3.1 Arsitektur *Artificial Neural Network*(ANN)

Secara umum terdapat tiga lapisan pada arsitektur ANN, yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. Arsitektur ANN digambarkan pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Arsitektur ANN (sumber: Unilam)

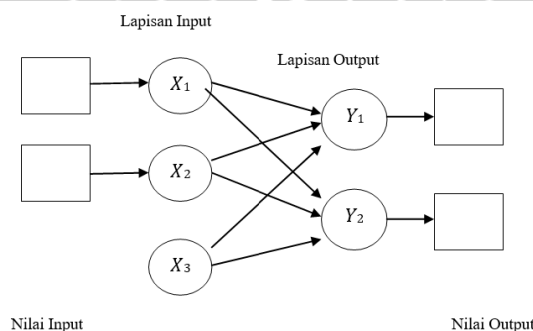
Berdasarkan Gambar 6, lapisan arsitektur ANN terdiri dari:

- a. *Input layer* yaitu lapisan yang terdiri dari beberapa neuron yang akan menerima informasi dari luar kemudian meneruskan ke neuron lain yang ada pada jaringan
- b. *Hidden layer* yaitu lapisan tiruan dari sel-sel saraf konektor pada jaringan yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan jaringan.
- c. *Output layer* yaitu lapisan yang berfungsi menyalurkan sinyal-sinyal keluaran hasil proses jaringan.

ANN memiliki beberapa arsitektur yang sering digunakan, yaitu:

1. Jaringan lapisan tunggal (*single layer network*)

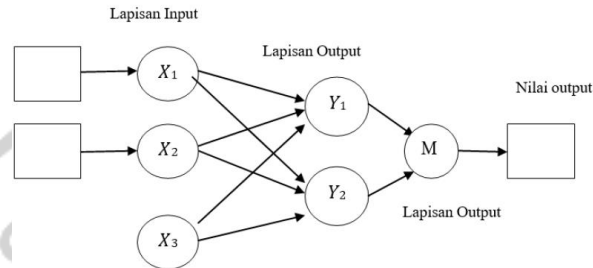
Jaringan lapisan tunggal terdiri dari satu *layer input* dan satu *layer output*. Setiap *neuron* yang terdapat di dalam *layer input* terhubung dengan setiap neuron yang terdapat pada *layer output*. Arsitektur jaringan ini menerima input kemudian langsung mengolahnnya menjadi *output*. Contoh algoritma jaringan syaraf tiruan yang menggunakan metode ini yaitu: *ADALINE*, *Hopfield*, *Perceptron*



Gambar 7. *Single Layer ANN* (sumber:Unilam)

2. Jaringan *multilayer* (*multilayer network*).

Jaringan *multilayer* memiliki memiliki 3 jenis layer, yaitu: *layer input*, *layer output*, dan *layer hidden*. Jaringan *multilayer* biasanya digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih rumit. Dikarenakan arsitektur yang *multilayer* maka terkadang proses pelatihan membutuhkan waktu relatif lama. Contoh algoritma ANN yang menggunakan metode ini yaitu: *MADALINE*, *backpropagation*, *neocognitron*



Gambar 8. Multi Layer ANN (sumber: Unilam)

2.3.2 Komponen dan Parameter Model Artificial Neural Network

Proses membangun *model* ANN dengan algoritma *backpropagation* menggunakan komponen dan parameter sebagai berikut:

2.3.2.1 Lapisan Tersembunyi (Hidden Layer)

Dalam Algoritma *backpropagation* perlu dipertimbangkan jumlah *hidden layer*. Jumlah *hidden layer* akan berpengaruh terhadap waktu pembelajaran dan nilai *error* yang dihasilkan dari proses *training* dan *testing*. Jumlah *hidden layer* lebih sedikit terkadang sudah cukup untuk menghasilkan output yang diharapkan. Jumlah *hidden layer* yang terlalu banyak dapat menyebabkan *overfitting* dimana model akan sulit beradaptasi mendekati target (Malfatti et.al, 2021).

2.3.2.2 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi memiliki peran untuk menentukan nilai keluaran yang diinginkan. Fungsi aktivasi merupakan hubungan antara tingkat aktivasi internal (summation function) yang dapat berupa fungsi *linear* atau *non-linear*. Fungsi ini akan menentukan apakah sinyal dari *input* neuron akan diteruskan atau tidak. Inputan ini akan diproses melalui suatu fungsi perambatan. Ada beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan antara lain:

Activation function	Equation	Example	1D Graph
Unit step (Heaviside)	$\phi(z) = \begin{cases} 0, & z < 0, \\ 0.5, & z = 0, \\ 1, & z > 0, \end{cases}$	Perceptron variant	
Sign (Signum)	$\phi(z) = \begin{cases} -1, & z < 0, \\ 0, & z = 0, \\ 1, & z > 0, \end{cases}$	Perceptron variant	
Linear	$\phi(z) = z$	Adaline, linear regression	
Piece-wise linear	$\phi(z) = \begin{cases} 1, & z \geq \frac{1}{2}, \\ z + \frac{1}{2}, & -\frac{1}{2} < z < \frac{1}{2}, \\ 0, & z \leq -\frac{1}{2}, \end{cases}$	Support vector machine	
Logistic (sigmoid)	$\phi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$	Logistic regression, Multi-layer NN	
Hyperbolic tangent	$\phi(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$	Multi-layer Neural Networks	
Rectifier, ReLU (Rectified Linear Unit)	$\phi(z) = \max(0, z)$	Multi-layer Neural Networks	
Rectifier, softplus	$\phi(z) = \ln(1 + e^z)$	Multi-layer Neural Networks	

Gambar 9. Fungsi Aktivasi (sumber: sebastianraschka.com)

2.3.3 Algoritma *Backpropagation*

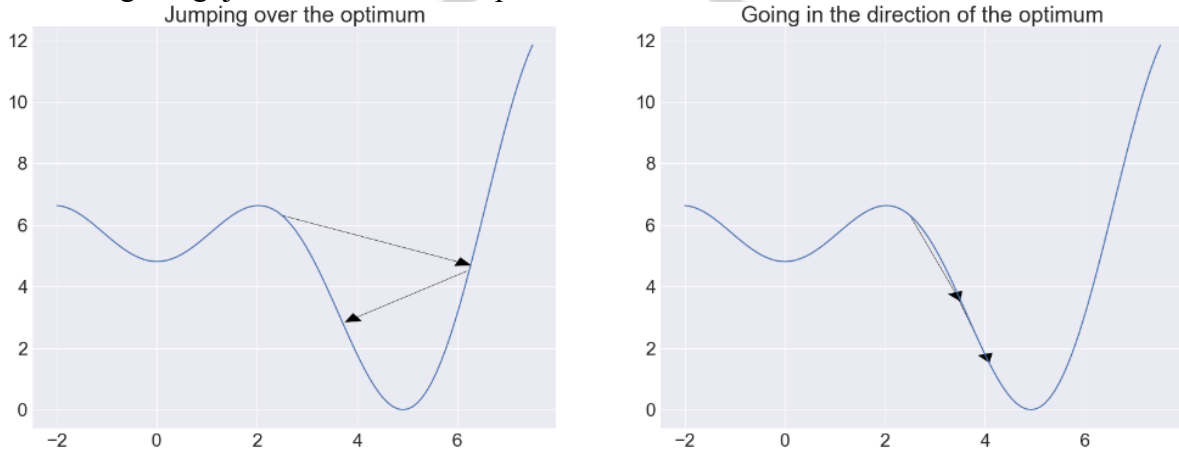
Backpropagation merupakan salah satu algoritma pembelajaran terawasi (*supervised learning*) dengan banyak lapisan. Ciri dari metode ini adalah meminimalkan *error* pada *output* yang dihasilkan oleh jaringan dengan mengupdate bobot-bobot pada jaringan. Algoritma *backpropagation* terdiri dari 3 tahapan yaitu fase *feedforward* (tahap maju), fase *backpropagation* dan fase perubahan atau penyesuaian bobot. Ketiga fase tersebut dilakukan berulang (*iteratif*) hingga kondisi penghentian (*stopping criteria*) terpenuhi yaitu *error* atau *epoch* atau *step max* terpenuhi.

2.3.4 *Resilient Backpropagation*

Resilient Backpropagation (*Rprop*) merupakan sebuah algoritma ANN yang dapat digunakan untuk melatih jaringan saraf hampir sama seperti *Backpropagation* biasa, namun, algoritma ini memiliki dua keunggulan utama dibandingkan *Backpropagation*: Pertama, pelatihan dengan *Rprop* lebih cepat daripada pelatihan dengan *Backpropagation*. Kedua, *Rprop* tidak memerlukan penentuan nilai parameter bebas, berbeda dengan *backpropagation* yang membutuhkan nilai untuk laju pembelajaran (*learning rate*). *Rprop* dikenalkan oleh M. Riedmiller dan H. Braun pada tahun 1993 dalam sebuah makalah "A Direct Adaptive Method for Faster Back Propagation Learning: Algoritma *Rprop*".

Terdapat 2 perbedaan Algoritma *Rprop* dengan algoritma *back-propagation*. Pertama, *Rprop* tidak menggunakan besarnya gradien untuk menentukan delta bobot melainkan hanya menggunakan tanda dari gradien. Kedua, *Rprop* mempertahankan delta bobot yang terpisah untuk setiap bobot dan bias, dan mengadaptasi delta-delta ini selama pelatihan sedangkan pada *backpropagation* menggunakan laju pembelajaran tunggal untuk semua bobot dan bias. Berikut algoritma *Rprop*:

1. Untuk bobot atau bias tertentu, jika turunan parsial sebelumnya dan saat ini memiliki tanda yang sama, maka itu berarti nilai bobot belum melewati nilai yang memberikan kesalahan minimum, sehingga akan terus bergerak ke arah yang sama.
2. Tetapi jika tanda pada bagian sebelumnya dan saat ini telah berubah, maka ini berarti kesalahan (*error*) nya terlalu besar, sehingga harus kembali ke iterasi sebelumnya, dan mengurangi jumlah ditambahkan pada iterasi terakhir.



Gambar 10. Ilustrasi Rprop (sumber: <https://florian.github.io/rprop/>)

Berikut algoritma Rprop:

1. Update *Step Size*

Rprop menghitung delta Δ_{ij} untuk masing-masing hubungan, dimana parameter tersebut akan menentukan besaran update bobot. Berikut rumusnya:

$$\Delta_{ij}^{(t)} = \begin{cases} \eta^+ \times \Delta_{ij}^{(t-1)} & , \text{ if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}^{(t-1)} \times \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}^{(t)} > 0 \\ \eta^- \times \Delta_{ij}^{(t-1)} & , \text{ if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}^{(t-1)} \times \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}^{(t)} < 0 \\ \Delta_{ij}^{(t-1)} & , \text{ else} \end{cases}$$

where $0 < \eta^- < 1 < \eta^+$

(1)

Update value Δ_{ij} berlangsung selama proses pembelajaran tergantung arah gradien error iterasi sebelumnya dan saat ini $\delta E / \delta w_{ij}$. Ketika *partial derivatif (error gradien)* berubah arah maka hal ini berarti update terakhir terlalu besar dan melewati *local minimum*, maka Δ_{ij} dikurangi dengan faktor η^- berupa nilai konstan 0.5. Jika *error gradien* masih pada arah yang sama maka *update value* dinaikan dengan η^+ berupa nilai konstan 1.2 agar cepat mendekati konvergen, namun jika *error gradien* 0 maka *update value* sama dengan sebelumnya.

2. Update Bobot

Ketika update value sudah dihitung maka selanjutnya akan digunakan untuk mengupdate bobot. Aturan pertama, jika error gradien saat ini dan sebelumnya sama maka gunakan rumus:

$$\Delta w_{ij}^{(t)} = \begin{cases} -\Delta_{ij}^{(t)} & , \text{ if } \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} > 0 \\ +\Delta_{ij}^{(t)} & , \text{ if } \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} < 0 \\ 0 & , \text{ else} \end{cases}$$

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} + \Delta w_{ij}^{(t)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Jika turunan saat ini positif berarti sebelumnya juga positif hal ini berarti menunjukan error yang bertambah sehingga bobot diupdate dengan dikurangi update value. Jika turunan saat ini negatif maka berarti sebelumnya juga negatif hal ini menunjukan error yang berkurang maka bobot dinaikan dengan update value.

Aturan kedua jika *error gradien* saat ini dan sebelumnya berubah tanda hal ini berarti step terlalu besar sehingga melewati minimum. Untuk menghindari hal tersebut maka dikembalikan ke step sebelumnya.

$$\Delta w_{ij}^{(t)} = -\Delta w_{ij}^{(t-1)} \quad , \quad \text{ if } \quad \frac{\partial E^{(t-1)}}{\partial w_{ij}} * \frac{\partial E^{(t)}}{\partial w_{ij}} < 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

2.4 Prediksi dan Evaluasi Model

Prediksi adalah suatu proses memperkirakan sesuatu yang akan terjadi di masa depan berdasarkan informasi yang dimiliki sekarang. Pengumpulan data historis berperan sebagai tahapan pertama yang dilakukan untuk sebuah prediksi atau peramalan. Prediksi menggunakan metode *Artificial Neural Network* mendapatkan model jaringan terbaik (Patnaik et.al, 2024). Prediksi dikatakan kurang akurat jika terdapat perbedaan yang cukup besar antara hasil prediksi dengan data target.

Evaluasi model adalah metoda yang digunakan untuk mengukur kesesuaian antara data yang sudah ada dengan data yang telah diprediksi. Terdapat beberapa ukuran yang dapat digunakan untuk mengevaluasi model yang sudah dihasilkan:

1. *Root Mean Squared Error* (RMSE)

Mean Squared Error adalah rata-rata kesalahan kuadrat antara nilai aktual dan nilai prediksi. *Mean Squared Error* secara umum digunakan untuk mengevaluasi rata-rata kesalahan pada pencarian nilai prediksi. Nilai MSE yang rendah atau nilai MSE mendekati nol menunjukkan bahwa hasil prediksi sesuai dengan data aktual dan bisa dijadikan perhitungan prediksi untuk periode mendatang. Rumus perhitungan MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

keterangan:

Y_i = nilai aktual

$\hat{Y}_i$ = nilai prediksi

n = banyaknya data

Karena MSE diukur dalam satuan kuadrat, maka *root mean square error* (RMSE) dapat ditafsirkan sebagai jarak rata-rata, antara nilai yang diprediksi dan diamati, diukur dalam satuan variabel target dengan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (5)$$

2. *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*

MAPE digunakan untuk mengukur akurasi prediksi dalam statistik.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \quad (6)$$

keterangan:

Y_i = nilai aktual

$\hat{Y}_i$ = nilai prediksi

n = banyaknya data

Dimana kategori MAPE adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Tabel Akurasi MAPE

MAPE	Keterangan
<10%	Akurasi Tinggi
10%-20%	Akurasi Baik
20%-50%	Akurasi Wajar
>50%	Akurasi Rendah

3. Koefisien Korelasi (R) adalah nilai yang menunjukkan kuat atau tidaknya hubungan linier antar dua variabel

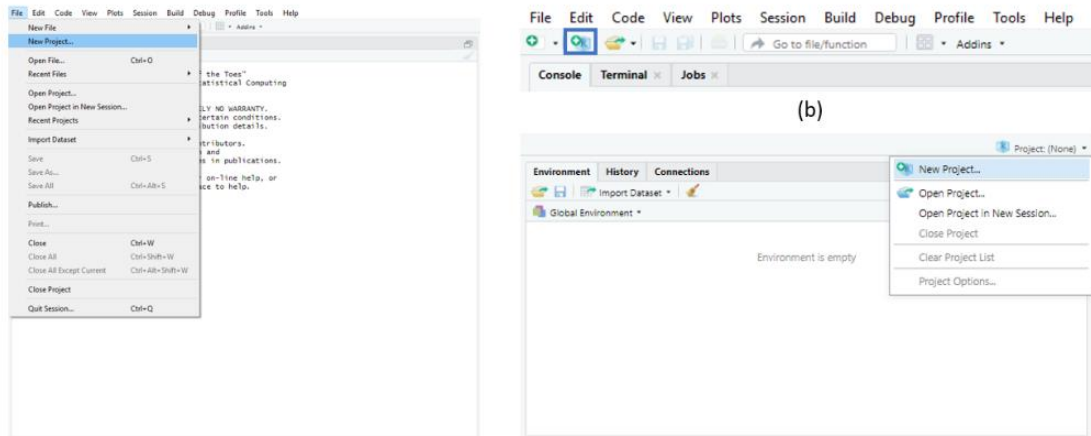
Tabel 6. Koefisien Korelasi

Nilai R	Korelasi
0,0 – 0,29	Sangat Lemah
0,3 – 0,49	Lemah
0,5 – 0,69	Cukup
0,7 – 0,79	Kuat
0,8 – 1,00	Sangat Kuat

Sedangkan koefisien determinasi digunakan untuk menghitung kesesuaian atau ketepatan antara nilai prediksi dengan data sample. Koefisien determinasi dapat dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi R (R^2)

2.5 Perangkat Lunak (Software) R dan Rstudio

R merupakan *open source software* yang awalnya digunakan oleh para ilmuwan dan akademisi untuk keperluan komputasi statistika dan grafis. Saat ini R sudah dikenal luas sebagai salah satu *powerful software* untuk analisis data dan *data science* selain Matlab dan Python. Seiring dengan perkembangan teknologi, cakupan kemampuan R sebagai bahasa pemrograman menjadi jauh lebih luas seperti untuk pemodelan ANN dengan dukungan *package neuralnet*. Dalam package tersebut berisi kumpulan suatu script yang umumnya berupa function atau data yang dapat digunakan untuk kebutuhan pemodelan ANN. Dalam pemrograman biasanya pengguna lebih nyaman menggunakan Rstudio dibanding R karena Rstudio merupakan *Integrated Development Environment (IDE)* untuk R.



Gambar 11. Tampilan Rstudio

