

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *State of Art*

Dalam laporan akhir ini, ada beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan laporan akhir yang dibuat penulis. Penelitian – penelitian tersebut telah menggunakan metode yang sama dengan yang digunakan oleh penulis. Berikut ini merupakan rincian terkait keterangan mengenai penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya :

##### 2.1.1. Penelitian 1

**Tabel 2. 1** Referensi Penelitian 1

<b>Judul Penelitian</b>	Estimation Accuracy and Computational Cost Analysis of Artificial Neural Networks for State of Charge Estimation in Lithium Batteries
<b>Identitas Penelitian</b>	Angelo Bonfitto, Stefano Feraco, Andrea Tonoli, Nicola Amati dan Francesco Monti (2019)
<b>Tujuan Penelitian</b>	Makalah ini menyajikan analisis trade off dalam hal akurasi dan biaya komputasi antara arsitektur yang berbeda dari jaringan saraf tiruan untuk estimasi <i>state of charge</i> (SOC) baterai lithium pada kendaraan hybrid dan listrik.
<b>Hasil Penelitian</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estimasi cenderung konvergen ke nilai yang diharapkan atau tetap konstan dalam kasus kesalahan lebih rendah dari 4%, sementara estimasi dapat menyimpang dan melampaui kisaran toleransi dalam kasus kesalahan yang lebih besar.</li> <li>2. Kinerja estimasi tidak terpengaruh oleh masalah kebisingan pada pengukuran saat ini, yang biasanya merupakan sinyal yang paling mengganggu dalam aplikasi nyata. ANN tidak memiliki kemampuan secara efektif untuk mengkompensasi kemungkinan ketidakakuratan dalam kalibrasi <i>off set</i> dan <i>gain</i> dari sensor yang digunakan.</li> </ol>
<b>Kelebihan Penelitian</b>	Tahapan dalam melakukan pemodelan NARX sangat jelas mulai dari arsitektur, pelatihan, pengujian dan validasi data.
<b>Kekurangan Penelitian</b>	Penelitian ini hanya berfokus pada ANN model NARX dan kurang terlalu menjelaskan perbedaan antara model ANN.

### 2.1.2. Penelitian 2

**Tabel 2. 2** Referensi Penelitian 2

<b>Judul Penelitian</b>	Review on The State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicle Battery
<b>Identitas Penelitian</b>	Migyue Zhang dan Xiaobin Fan (2020)
<b>Tujuan Penelitian</b>	Makalah ini mengulas berbagai makalah representatif yang terkait dengan metode estimasi SOC untuk baterai kendaraan listrik.
<b>Hasil Penelitian</b>	<p>1. Metode tradisional memiliki algoritma yang sederhana, stabil dan mudah diimplementasikan, namun memiliki tingkat akurasi yang rendah dan harus ditingkatkan lagi.</p> <p>2. Metode modern memiliki akurasi yang tinggi dimana menjadi algoritma yang sering digunakan saat ini dalam penelitian, namun algoritma ini cukup rumit serta persyaratan model baterai yang tinggi.</p> <p>3. Metode lainnya merupakan gabungan antara metode-metode yang sudah ada, keterkaitan yang kuat interdisipliner dan aplikasinya. Metode ini memiliki algoritma yang rumit dan penerapan praktis perlu diverifikasi lanjut.</p>
<b>Kelebihan Penelitian</b>	Berbagai model dijelaskan sehingga mempermudah pembaca membandingkan algoritma yang cocok untuk diaplikasikan untuk penelitian selanjutnya.
<b>Kekurangan Penelitian</b>	Arsitektur algoritma yang kurang dijelaskan.

### 2.1.3. Penelitian 3

**Tabel 2. 3** Referensi Penelitian 3

<b>Judul Penelitian</b>	A Review of Lithium-Ion Battery State Of Charge Estimation and Management System in Electric Vehicle Applications: Challenges and Recommendations.
<b>Identitas Penelitian</b>	M.A. Hannan , M.S.H. Lipu , A. Hussain , A. Mohamed (2017)
<b>Tujuan Penelitian</b>	Makalah ini secara menyeluruh mengulas estimasi SOC baterai lithium ion dan sistem manajemennya terhadap aplikasi kendaraan listrik serta mengklasifikasikan metodologi estimasi SOC.
	1, Metode konvensional mudah diterapkan namun sangat dipengaruhi oleh penuaan, suhu dan gangguan eksternal.

<b>Hasil Penelitian</b>	2. Algoritma filter adaptif dapat memprediksi keadaan dinamis non linier dengan sangat baik, biaya komputasi yang rendah dan efisiensi yang tinggi. Namun, metode ini memiliki beban komputasi yang berat dan memiliki kekuatan yang buruk.
	3. Algoritma pembelajaran berkinerja baik dalam pemodelan non linear sistem dinamis yang mempertimbangkan suhu, penuaan dan kebisingan. Namun, metode ini memiliki komputasi yang kompleks dan memerlukan ruang unit memori yang besar untuk menyimpan data yang dilatih.
	4. Metode pengamat non linier memiliki peningkatan ketahanan terhadap gangguan dan peningkatan kinerja dalam hal akurasi, kecepatan, dan biaya komputasi. Namun, model dapat memberikan hasil yang tidak akurat jika pengontrol tidak dirancang dengan benar.
<b>Kelebihan Penelitian</b>	Pengelompokan metode estimasi SOC dengan memberikan penjelasan kelebihan dan kekurangan masing-masing akan membantu pembaca untuk mendapatkan gambaran dan arahan yang akan membantu menentukan metodologi yang tepat untuk aplikasi.
<b>Kekurangan Penelitian</b>	Tidak dilakukan proses pengujian model pada tiap metode.

#### 2.1.4. Penelitian 4

**Tabel 2. 4** Referensi Penelitian 4

<b>Judul Penelitian</b>	Analisa Perbandingan Baterai Lithium Ion, Lithium Polymer, Lead Acid dan Nickel Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik
<b>Identitas Penelitian</b>	Muhammad Thowil Alif dan Ilham Ayu Putri Pratiwi (2015)
<b>Tujuan Penelitian</b>	Makalah ini menyajikan analisa perbedaan antara baterai sekunder dari segi spesifikasi, kelebihan dan kekurangan dari masing-masing baterai.
<b>Hasil Penelitian</b>	1. baterai lithium ion memiliki bobot yang ringan, kepadatan energi yang tinggi dan kehilangan energi yang rendah yaitu 5%. Namun kekurangannya yaitu mengalami degradasi lebih cepat jika terkena suhu tinggi dan memiliki <i>lifetime</i> pendek hanya 2-3 tahun.
	2. baterai lithium polymer memiliki massa yang ringan dan dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, baterai jenis ini juga menawarkan kapasitas yang tinggi dan menawarkan laju <i>discharge</i> yang jauh lebih tinggi. Namun memiliki <i>lifetime</i> hanya 300-400 siklus, sensitif dan kimia dari baterai ini dapat menyebabkan kebakaran, serta membutuhkan perawatan khusus

	<p>3. baterai Lead Acid memiliki keandalan dan kemampuan bekerja yang baik, mampu menghadapi kondisi lambat cepat dan pengisian daya berlebih dan mampu bertahan dalam jangka yang lama jika tidak digunakan. namun baterai ini termasuk baterai tidak ramah lingkungan serta rentan terhadap korosi.</p> <p>4. baterai NiMH memiliki kapasitas yang besar, kurang rentan terhadap memori, dan ramah lingkungan. Namun baterai ini <i>limited service life</i>, membutuhkan algoritma biaya kompleks, dan tidak menyerap <i>overcharge</i> dengan baik.</p>
<b>Kelebihan Penelitian</b>	Penelitian ini membandingkan 4 jenis baterai sekunder sehingga dapat memberikan informasi perbandingan antara baterai sehingga pembaca dapat membedakan antara baterai.
<b>Kekurangan Penelitian</b>	Pada penelitian ini tidak terlalu menjelaskan secara detail mengenai perbedaan antara baterai baik spesifikasi, kelebihan dan kekurangan masing-masing baterai

#### 2.1.5. Penelitian 5

**Tabel 2. 5** Referensi Penelitian 5

<b>Judul Penelitian</b>	Feedforward Neural Network Sebagai Algoritma Estimasi State Of Charge Baterai Lithium Polymer.
<b>Identitas Penelitian</b>	Mohammad Imron Dwi Prasetyo, Novie Ayub Windarko, Anang Tjahjono (2020)
<b>Tujuan Penelitian</b>	Makalah penelitian ini memberikan informasi mengenai Analisa baterai lithium polymer dengan menggunakan metode <i>Feedforward Neural Network</i> .
<b>Hasil Penelitian</b>	Pada penelitian ini, estimasi state of charge baterai lithium polymer menggunakan algoritma feed forward neural network telah didesain dan disimulasikan. Simulasi FFNN yang termasuk kategori soft computing ini hanya cukup dilakukan dengan metode learning tanpa harus memodelkan equivalent circuit dari baterai. Penentuan jumlah dari hidden layer FFNN sangat berpengaruh terhadap hasil training. Nilai regression dan MSE sebagai poin indikator hasil training tersebut. Hasil dari training menunjukkan bahwa nilai regression yang dicapai sangat ideal yakni 1 dengan menggunakan jumlah hidden neuron 11.
<b>Kelebihan Penelitian</b>	Penelitian ini membantu pembaca dalam memahami penggunaan neural network untuk mengestimasi SOC baterai.
<b>Kekurangan Penelitian</b>	Pada penelitian ini kurang menjelaskan hasil data yang didapat pada saat pelatihan dan pengujian.

## 2.2. Drone atau *Unmanned Aerial Vehicle*

Drone merupakan sebuah pesawat udara dengan ukuran kecil tanpa awak yang dikendalikan oleh pilot dari jarak jauh atau mampu mengendalikan dirinya sendiri yang dioperasikan oleh operator. Drone menerapkan hukum aerodinamika seperti pada pesawat udara untuk terbang. Drone juga dapat dikendalikan secara otomatis menggunakan *remote control* yang tersambung dengan media transmisi gelombang radio atau Wi-fi yang sebelumnya sudah dirancang melalui program komputer sebelum digunakan sehingga dapat dikendalikan dari jarak jauh oleh pilot yang berada di daratan atau tempat lainnya. Selain itu drone juga dapat dikendalikan menggunakan *smartphone* maupun *joystick*.



**Gambar 2. 1** Drone

### 2.2.1. Jenis-jenis Drone

Perkembangan teknologi pada drone sudah sangat pesat. Berbagai jenis drone diciptakan berdasarkan kebutuhan manusia. Jenis-jenis pada drone sendiri terbagi menjadi dua, yaitu berdasarkan bentuk dan berdasarkan fungsinya.

Berdasarkan bentuknya, drone terbagi menjadi dua yaitu *fixed wing* dan *rotary wing*. *Fixed wing* adalah drone yang memiliki bentuk seperti pesawat dengan sayap tetap dan struktur yang kaku yang nantinya bisa membantu menghasilkan daya angkat pada bagian bawah sayap pada saat terbang. Hal ini untuk membantu drone menghasilkan gaya aerodinamis seperti pada pesawat komersial serta waktu

terbang dan kapasitas muatan pada jenis drone ini adalah jenis drone yang paling baik. Jenis drone ini biasanya dipakai untuk keperluan survei lahan.



**Gambar 2. 2** *Fixed Wing*

Jenis drone berdasarkan bentuknya yang kedua adalah *rotary motor* atau multirotor. *Rotary wing* drone merupakan jenis drone yang sangat familier dan paling banyak dijual di pasaran. Drone multirotor ini memiliki berbagai jenis dan penamaannya sesuai dengan jumlah baling-baling yang terdapat pada drone. Misalnya, drone yang memiliki satu baling-baling disebut *singlecopter* dan seterusnya. Namun diantara jenis drone ini, drone dengan 4 baling-baling atau disebut *quadcopter* yang paling sering digunakan karena bentuknya yang kecil dan sering dilengkapi kamera yang ditanam pada badan drone. Kekurangan dari drone ini adalah memiliki durasi penggunaan yang hanya berkisar 10-30 menit pemakaian dan harus dilakukan pengisian pada baterai.



**Gambar 2. 3** *Rotary Wing*

Selanjutnya jenis drone berdasarkan fungsinya, ini akan dijelaskan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2. 6** Jenis Drone Berdasarkan Fungsi

No.	Jenis	Fungsi
1	GPS drone	Drone ini selalu terhubung dengan sinyal GPS dan satelit dan juga drone ini mampu kembali ke titik awal keberangkatan tanpa harus dikendalikan dengan remote control. Drone dapat kembali ke titik awal pada saat mulai kehabisan baterai atau pada saat diluar jangkauan remote control.
2	<i>Delivery drone</i>	Drone ini mampu membawa sejumlah barang menuju tujuan tanpa harus melalui jalanan. Kemampuan angkat drone dalam sekali angkut berkisar 8-14 kg. Drone ini awalnya dirancang oleh perusahaan online Amazon untuk mengantar barang-barang pesanan, namun sekarang drone ini juga dimanfaatkan pihak militer untuk mengirim logistik ke area yang sulit dijangkau.
3	<i>Photography drone</i>	Drone ini didesain untuk mengambil foto sehingga ukurannya tidak terlalu besar namun dapat membawa kamera digital dan sejumlah pelindung lensa kamera. Alat kendalinya pun dilengkapi satu tombol khusus yang terhubung dengan <i>shutter</i> di kamera yang terdapat pada drone.
4	<i>Racing drone</i>	Drone ini digunakan untuk balapan sehingga didesain ramping, mampu bertahan terhadap tekanan angin pada saat terbang, serta memiliki kecepatan 70-80 km/jam.

5	<i>Endurance drone</i>	Drone jenis ini dapat mengambil video dari angle yang sangat tinggi, karena drone ini mampu terbang mencapai ribuan meter dari permukaan tanah. Umumnya drone ini digunakan oleh militer dan lembaga yang membutuhkan pemetaan sebuah wilayah yang luas. Selain itu, drone ini tidak bisa diterbangkan oleh sembarang orang, hanya orang yang memiliki izin saja yang dapat sesuatu hingga lebih dari 400 kaki di atas permukaan laut.
6	<i>Military drone</i>	Drone yang berfungsi untuk kepentingan militer seperti memata-matai pihak musuh bahkan digunakan sebagai pesawat kamikaze. Drone militer yang sangat populer adalah UAV Predator dan Reaper.
7	<i>Trick drone</i>	Drone jenis ini hanya bisa diajak naik-turun atau belok kiri-kanan namun dapat melakukan trik manuver-manuver menarik. Memiliki ukuran yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu berat serta memiliki alat kendali yang <i>user friendly</i> bagi pemula.

### 2.3. Baterai

#### 2.3.1. Jenis Baterai

Berdasarkan jenisnya baterai terbagi menjadi 2, yaitu :

##### 1. Baterai Primer

Baterai Primer atau Baterai sekali pakai ini merupakan baterai yang paling sering ditemukan di pasaran, hampir semua toko dan supermarket menjualnya. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang lebih terjangkau. Baterai jenis ini pada umumnya memberikan tegangan 1,5 Volt dan terdiri dari berbagai jenis ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) dan C (medium) dan D (besar). Disamping itu, terdapat juga Baterai Primer (sekali pakai) yang berbentuk kotak dengan tegangan 6 Volt ataupun 9 Volt.

##### 2. Baterai Sekunder

Baterai Sekunder adalah jenis baterai yang dapat diisi ulang atau Rechargeable Battery. Pada prinsipnya, cara Baterai Sekunder menghasilkan arus listrik adalah sama dengan Baterai Primer. Hanya saja, Reaksi Kimia pada Baterai Sekunder ini dapat berbalik (Reversible). Pada saat Baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal Baterai (discharge), Elektron akan mengalir dari Negatif ke Positif. Sedangkan pada saat Sumber Energi Luar (Charger) dihubungkan ke Baterai Sekunder, elektron akan mengalir dari Positif ke Negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Jenis-jenis Baterai yang dapat di isi ulang (rechargeable Battery) yang sering kita temukan antara lain seperti Baterai Lead

Acid, Li-Po (Lithium Polymer), Ni-MH (Nickel-Metal Hydride) dan Li-Ion (Lithium-Ion).

**Tabel 2. 7 Perbandingan Baterai Sekunder**

<b>Tipe Baterai</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Lead-Acid	Biaya awal yang relatif murah	Energi dan power spesifik sederhana
	Teknologi yang matang	Siklus hidup pendek
	Terdapat produsen hampir di seluruh dunia	Persyaratan <i>operation and maintenance</i> yang tinggi
	Ketergantungan pada bahan murah yang melimpah	Kinerja sensitif terhadap suhu
	Efisiensi perjalanan pulang pergi yang memuaskan	Keandalan terbatas
	Tidak ada efek memory	Waktu pengisian yang lama
	Tingkat <i>self-discharge</i> rendah	Masalah keamanan; pelepasan gas
	Efisiensi perjalanan pulang pergi yang memuaskan	Ketergantungan pada timah berbahaya
	Efisiensi skema daur ulang yang terbukti	
Lithium Ion	Energi dan power spesifik yang luar biasa	Biaya awal yang tinggi
	Siklus hidup panjang	Diperlukan BMS tingkat lanjut
	Efisiensi pulang pergi yang tinggi	Masalah keamanan; insiden <i>thermal runaway</i>
	Persyaratan <i>operating and maintenance</i> rendah	Masalah kemacetan material; lithium dan kobalt
	Rentang suhu yang memuaskan	Skema pemulihan dan daur ulang yang sangat rendah
	Keandalan tinggi	
	Keragaman teknologi; beberapa senyawa kimia	
	Upaya <i>research and development</i> yang intensif	
	Senyawa kimia dengan bahan ramah lingkungan	
Tingkat <i>self-discharge</i> yang masuk akal		
Isi ulang yang relatif cepat		
Ni-MH	Biaya awal tidak terlalu mahal	Tingkat <i>self-discharge</i> tinggi
	Energi dan power spesifik yang memuaskan	Memiliki efek terhadap memori

	Efisiensi perjalanan pulang pergi yang memuaskan	Siklus hidup pendek
	Persyaratan operating and maintenance rendah	Skema pemulihan dan daur ulang yang sangat rendah
	Keandalan tinggi	
	ketergantungan pada bahan ramah lingkungan	
	Catatan keamanan yang bagus	
	Rentang suhu yang memuaskan	
	Isi ulang yang relatif cepat	
Li-Po	Memiliki massa yang lebih ringan	<i>Lifetime</i> yang lebih pendek
	Kapasitas yang lebih tinggi	Membutuhkan perawatan khusus
	Kehilangan kemampuan daya yang sedikit	Memiliki densitas energi yang lebih rendah
	Laju Discharge yang lebih tinggi	Membutuhkan <i>charger</i> khusus untuk menyalurkan daya yang sama besar pada tiap sel
	Memiliki berbagai bentuk dan ukuran	
	Berat yang lebih ringan	

### 2.3.2. Baterai Lithium Polymer

Baterai jenis Li-Po (lithium polymer) adalah baterai *rechargeable* dan merupakan pengembangan dari baterai lithium ion. Baterai lithium polymer tidak menggunakan cairan elektrolit namun menggunakan polymer kering dengan bentuk lapisan plastik film tipis sebagai elektrolitnya, sehingga dapat didesain dalam berbagai bentuk dan ukuran. Lapisan plastik film tipis tersebut disusun berlapis-lapis antara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Walaupun didesain dengan bentuk lapisan plastik tipis namun tetap memiliki daya tahan baterai yang relatif baik.

Kelebihan baterai lithium polymer memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan jenis baterai *rechargeable* lainnya serta memiliki berbagai bentuk dan ukuran. Baterai lithium polymer juga memiliki kapasitas yang tinggi yang dimana dapat memungkinkan menyimpan energi yang lebih banyak. Selain itu baterai lithium ion menawarkan laju discharge yang lebih tinggi.

Selain kelebihan baterai lithium polymer, terdapat juga kekurangannya yaitu pertukaran ion yang terjadi pada baterai lithium polymer lemah melalui polymer kering. Hal ini akan menyebabkan penurunan pada *charge* dan *discharge* rate baterai. Baterai lithium polymer juga memiliki siklus hidup yang lebih rendah yaitu hanya 300-400 siklus, hal ini sangat jauh berbeda jika dibandingkan baterai lithium ion yang memiliki siklus hidup lebih dari 1000 siklus. Serta baterai lithium polymer memiliki perawatan khusus untuk proses *charging* dan *discharging*.

### **Tegangan Sel Li-Po**

Baterai lithium polymer (LiPo) memiliki tegangan nominal 3,7 V sampai 4,2 V per sel. Jika tegangan pada baterai kurang dari 3,7V maka baterai akan rusak secara permanen dan jika tegangan pada baterai lebih dari 4,2V maka itu akan meningkatkan resiko baterai meledak secara signifikan. Tegangan pada baterai Li-Po pada dasarnya menentukan seberapa cepat kendaraan melaju. Tegangan sangat berpengaruh terhadap RPM (*Revolutions Per Minute*) motor listrik, satuan motor *brushless* adalah kV yang berarti RPM per volt. Jika rating motor *brushless* adalah 3.500kV, motor akan berputar 3.500 RPM untuk setiap volt. Jadi semakin tinggi tegangan pada baterai maka akan semakin cepat kendaraan melaju.

Baterai Li-Po sering dibuat dalam bentuk persegi panjang dan terdapat keterangan jumlah sel yang digunakan pada baterai tersebut. Jika beberapa sel pada baterai Li-Po digabungkan dalam rangkaian seri maka perhitungan tegangan pada baterai tinggal ditambahkan. Apabila keterangan pada baterai Li-po “2S” yang berarti baterai tersebut memiliki jumlah sel sebanyak 2 dengan tegangan 7,4 V sampai 8,4 V, dan begitu pula jika baterai Li-Po 3S, 4S dan seterusnya. Namun beberapa baterai Li-Po memberi keterangan “4S2P” atau “2S2P” yang dimana menunjukkan bahwa pada baterai ada beberapa sel dirangkai secara seri dan beberapa paralel untuk menciptakan tegangan dan kapasitas yang diperlukan untuk keseluruhan baterai. Baterai dengan keterangan 4S2P berarti di dalam baterai disusun sebanyak 4 sel secara seri dan 2 sel secara paralel.

### **Kapasitas Baterai Li-Po**

Kapasitas baterai adalah ukuran seberapa besar daya yang dapat ditampung suatu baterai. Satuan ukuran kapasitas baterai adalah *milliamp hours*, ini dapat

dikatakan berapa banyak jumlah pengurasan yang dibutuhkan untuk pengosongan baterai selama satu jam. Jika baterai memiliki kapasitas 1100 mAh yang berarti baterai tersebut akan habis dalam satu jam jika arus yang dikeluarkan dalam proses pengosongan sebesar 1100 mA atau 1,1 A. Umumnya kapasitas baterai dapat menentukan berapa lama baterai dapat digunakan sebelum diisi ulang kembali. Kapasitas yang besar akan memberikan waktu penggunaan yang lebih lama, namun akan mempengaruhi berat baterai tersebut. Selain itu, jika baterai Li-Po digunakan pada kendaraan listrik atau alat yang menggunakan motor listrik maka kecepatan dari alat tersebut akan mempengaruhi waktu penggunaan baterai. Semakin cepat motor listrik berputar maka akan semakin sedikit waktu penggunaannya.

### ***Discharge Rating atau C Rating***

*Discharge rating* atau yang sering disebut *C-rating* merupakan ukuran seberapa cepat baterai dapat dikosongkan dengan aman tanpa merusak baterai atau sederhananya mengacu pada kapasitas energi yang dapat dikeluarkan baterai dengan aman. *C-rating* direpresentasikan sebagai kelipatan kapasitas keseluruhan baterai. Baterai yang memiliki *C-rating* yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak energi, yang berarti kinerja baterai juga lebih tinggi. Kemampuan untuk mempertahankan tegangan yang tinggi dan lebih konsisten inilah yang dapat menghasilkan kinerja baterai yang bagus. Hal ini sangat penting ketika baterai terhubung dengan drone yang memiliki banyak motor untuk menggerakkan banyak rotor. Untuk mengetahui nilai arus yang aman digunakan pada baterai tersebut dapat menggunakan rumus :

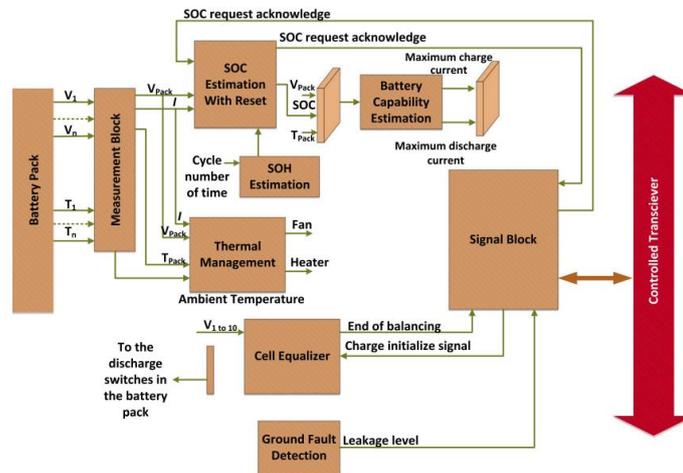
$$\text{Battery current (A)} = \text{C rating} \times \text{capacity(A)} \dots\dots\dots(1)$$

Angka yang dihasilkan dari rumus diatas adalah beban berkelanjutan yang dapat dipakai dengan aman pada baterai. Namun jika baterai mendapatkan beban lebih dari batas amannya maka akan menyebabkan penurunan pada baterai secara cepat dan yang paling fatal dapat menyebabkan baterai meledak.

### **2.3.3. Battery Management System (BMS)**

Sel Lithium polymer yang aman digunakan memerlukan sistem manajemen baterai atau *battery management system* (BMS) untuk melacak dan mengelola

fungsionalitas dan aspek kinerja, seperti tegangan, arus, suhu, *state of charge* (SOC) dan *state of health* (SOH).



**Gambar 2. 4** Sistem BMS

Baterai lithium polymer efektif dan efisien dalam mencapai kinerja yang lebih baik selama siklus hidupnya, sehingga harus dilakukan perhatian khusus selama baterai beroperasi untuk menghindari kerusakan fisik, penuaan dan *thermal runaway*. Oleh karena itu, ada kebutuhan yang mengharuskan BMS yang efisien, yang dapat secara tepat mengukur, memperkirakan, dan mengatur SOC baterai. BMS telah dikembangkan oleh berbagai perusahaan di seluruh dunia, sehingga dapat diaplikasikan dalam modul elektronik portabel seperti telepon seluler dan notebook. Namun, implementasi BMS di kendaraan listrik masih dalam tahap awal. Hal ini dikarenakan, bahwa jumlah baterai dalam kendaraan listrik seratus kali lebih tinggi daripada perangkat elektronik portabel. Selain itu, kendaraan listrik dirancang memberikan daya, tegangan dan arus yang tinggi, yang membuat BMS lebih kompleks daripada perangkat elektronik portabel.

#### 2.4. *State of Charge* (SOC)

*State of charge* adalah persentase yang menunjukkan kapasitas energi baterai yang tersisa terhadap kapasitas energi maksimal dari baterai tersebut. Nilai SOC dinyatakan dalam rentang nilai 0~1, dimana nilai 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong tanpa kapasitas energi yang tersimpan, sedangkan nilai 1 adalah

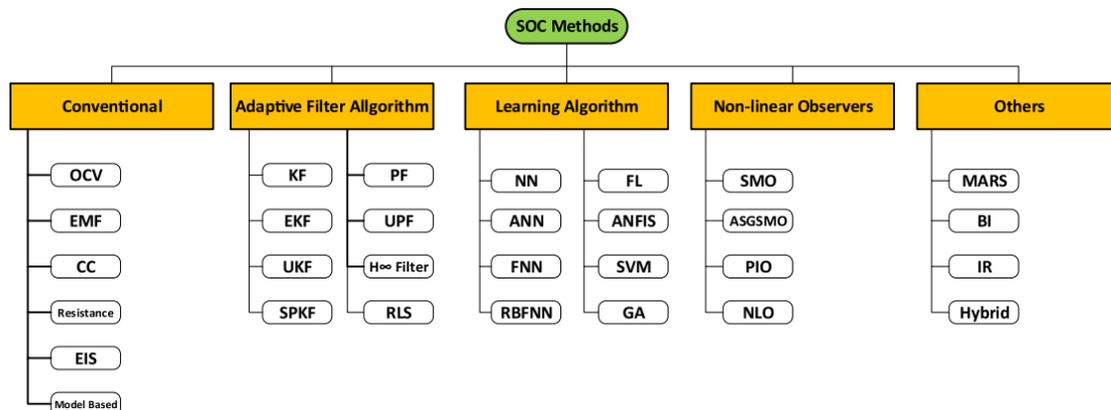
keadaan baterai dalam kapasitas energi terisi penuh. SoC dapat juga dinyatakan 0% - 100%.

Estimasi SOC dengan akurasi yang tinggi tidak hanya memberikan informasi tentang sisa energi yang berguna tetapi juga mengevaluasi keandalan baterai. Selain itu estimasi yang akurat dan efisien memberikan gambaran tentang pengisian atau pengosongan baterai secara strategis yang memiliki dampak signifikan pada aplikasi baterai di mana setiap sel memiliki kapasitas yang berbeda karena suhu, penuaan, *self-discharge* dan perbedaan pembuatan.

Sebuah sistem SOC ditunjukkan pada gambar 2.1. Baterai terhubung setidaknya ada dua terminal yang dipasang, yaitu secara seri dan paralel, sebuah analog ditambahkan untuk konverter digital (ADC) ke dalam sistem SOC. Dalam hal resistansi, tegangan, arus dan suhu harus digital sinyal. Berdasarkan sinyal yang diukur, mikrokontroler memperkirakan sistem SOC. Ada berbagai model algoritma untuk menentukan SOC yang tersimpan di mikrokontroler. Dua unit memori digunakan dalam sistem SOC; *Read Only Memory* (ROM) dan *Random Access Memory* (RAM). Data dasar disimpan dalam ROM seperti jumlah debit dan efisiensi pengisian dan pengosongan. ROM juga menyimpan algoritma untuk SOC ketika SOC diperkirakan menggunakan EMF. Data historis disimpan dalam RAM seperti jumlah siklus pengisian dan pengosongan. Setiap parameter memiliki berdampak pada keakuratan SOC. Kalibrasi SOC juga diperlukan jika estimasi SOC didasarkan pada pengukuran dan integrasi arus karena ketidakakuratan pengukuran saat ini menyebabkan kesalahan yang terakumulasi dari waktu ke waktu.

## **2.5. Metode Estimasi SOC**

Berbagai penelitian dilakukan untuk mendapatkan estimasi SOC dengan macam cara yang berbeda-beda. Metode estimasi SOC terbagi menjadi lima kategori, yaitu :



**Gambar 2. 5** Metode Estimasi SOC

Dari semua metode di atas, ada empat metode yang paling populer untuk menentukan estimasi SOC seperti pada tabel 2.10.

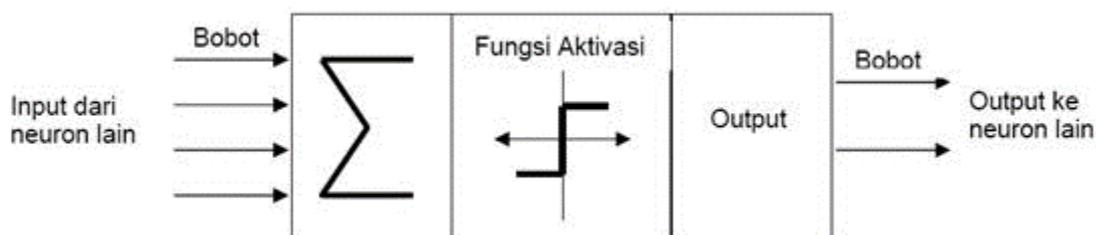
**Tabel 2. 8** Perbandingan Metode Estimasi SOC

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Coulomb Counting	Memungkinkan penentuan perubahan relatif dari status muatan hanya tanpa memperhitungkan self-discharge	tingkat akurasi bergantung sensor dan membutuhkan waktu perkiraan yang lama
		Perhitungan ini harus mencerminkan efisiensi <i>coulombic</i> tergantung pada tingkat pengisian atau pengosongan.
		Efisiensi <i>coulombic</i> bergantung pada kondisi operasi.
OCV	termudah	bergantung pada suhu, keadaan baterai harus dalam keadaan tanpa beban Metode ini selalu disandingkan dengan metode lain.
Kalman Filter	menggabungkan metode langsung dan metode pemodelan	algoritma yang kompleks yang menyebabkan ketidakstabilan numerik
Neural Network	Memiliki akurasi yang tinggi, Perhitungan sederhana, Perangkat yang mampu untuk mengenali suatu objek secara non-linier.	Kurang mampu melakukan operasi algoritma aritmatika, operasi logika dan simbolis

## 2.6. Metode Neural Network

*Neural Network* (NN) atau yang lebih dikenal dengan *Artificial Neural Network* (ANN) adalah alat kecerdasan komputasi yang banyak digunakan untuk pemodelan sistem, anomali, deteksi, prognostik dan klasifikasi. NN terdiri dari neuron yang merupakan satu set pemroses sederhana yang berhubungan seperti kemampuan otak manusia saat memproses informasi dan akuisisi pengetahuan. Karakteristik NN yang menarik adalah dapat menyesuaikan fungsi non-linier pada neuron dan lapisan sehingga dapat mengolah data sistem yang kompleks.

Metode NN terdiri dari tiga *layer*, yaitu pertama *input layer* atau lapisan masukan yang terdiri dari *node* untuk mempresentasikan variabel masukan. Kedua *hidden layer*, *hidden layer* bisa terdiri dari satu atau lebih lapisan dengan *node* untuk meniru non linier antara masukan dan keluaran dan terakhir yaitu *output layer* atau lapisan keluaran yang merepresentasikan variabel keluaran.



**Gambar 2. 6** Struktur *Neural Network*

Pada umumnya metode NN di desain dengan tiga fase, yaitu pelatihan (*training*), pengujian (*test*) dan validasi (*validation*). Fase pelatihan dilakukan dengan memanfaatkan kumpulan data yang merepresentasi rentang sistem dinamik seluas mungkin untuk menghasilkan pembelajaran (*learning*) yang akurat.

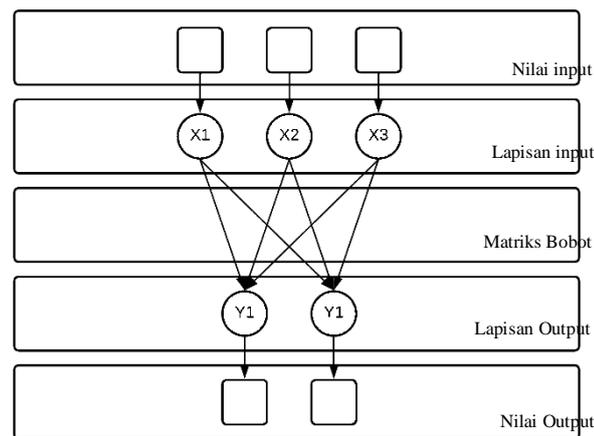
### 2.6.1. Arsitektur *Neural Network*

Arsitektur *neural network* merupakan struktur susunan komponen lapisan pada input, *hidden* dan output yang terhubung dengan bobot, fungsi aktivasi dan fungsi pembelajaran. Terdapat 3 macam arsitektur *neural network* sebagai berikut:

#### 1. *Single Layer Network*

Arsitektur single layer ini hanya terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan input dan lapisan output. Lapisan input merupakan lapisan yang menerima sinyal

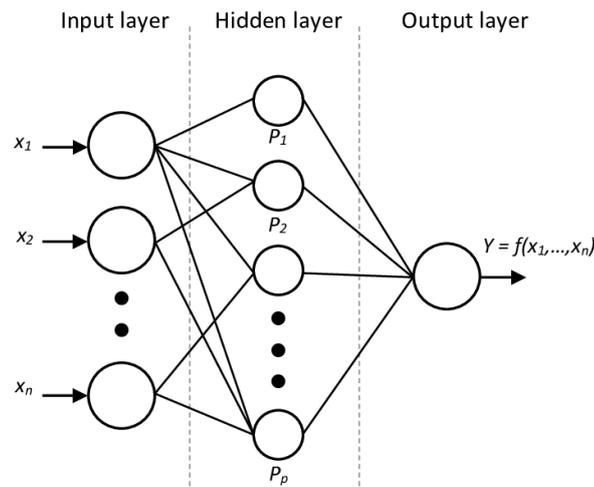
data input sedangkan lapisan lapisan output adalah lapisan yang berfungsi menjadi media untuk menghasilkan output. Meskipun memiliki dua lapisan arsitektur ini termasuk kategori arsitektur lapisan tunggal karena lapisan output secara tunggal melakukan komputasi tanpa bantuan lapisan lain antara lapisan input dan lapisan output.



**Gambar 2. 7** Arsitektur *Single Layer Network*

## 2. *Multi Layer Network*

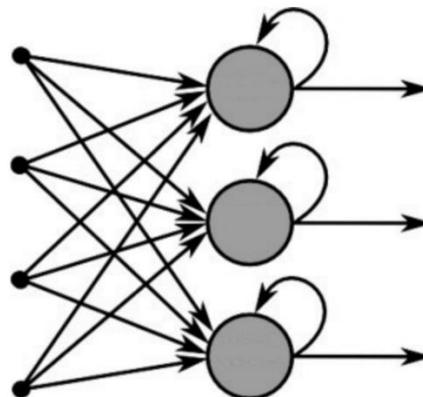
Arsitektur *multi layer network* adalah salah satu arsitektur *neural network* yang memiliki nilai bobot yang lebih baik daripada arsitektur *single layer network* sehingga menghasilkan nilai output yang lebih akurat. Jaringan yang memiliki lapisan tambahan antara lapisan input dan lapisan output yang disebut lapisan tersembunyi (*hidden layer*), lapisan ini memiliki neuron tersembunyi yang melakukan komputasi dari lapisan input menuju lapisan output.



**Gambar 2. 8** Arsitektur *Multilayer Network*

3. *Recurrent Neural Network (RNN)*

Arsitektur *recurrent network* memiliki karakteristik yaitu minimal terdapat satu pengulangan umpan balik yang bertujuan meningkatkan kemampuan jaringan dalam mempelajari karakter sementara dari data set yang diberikan. RNN akan memproses data data seperti pada jaringan *multi layer* namun pada lapisan tersembunyi, data yang sudah diproses tidak langsung menuju lapisan output melainkan melewati sebuah loop yang berisi informasi data yang sudah diproses. Sehingga output yang dihasilkan dari jaringan ini tidak hanya mempertimbangkan data input saja namun juga mempertimbangkan data lain yang pernah diproses sebelumnya.



**Gambar 2. 9** Arsitektur *Recurrent Neural Network*

## 2.7. Metode Algoritma Pembelajaran

Algoritma pembelajaran adalah algoritma yang digunakan pada proses mesin pembelajaran, dimana system melakukan pembelajaran berdasarkan data. Ada terdapat 3 jenis metode algoritma pembelajaran, yaitu

### 1. *Supervised Learning*

Algoritma *supervised learning* merupakan algoritma yang paling sering digunakan dalam mesin pembelajaran. Algoritma ini mengidentifikasi fitur secara gamblang dan melakukan prediksi atau klasifikasi yang sesuai. Pada algoritma ini nilai output yang diinginkan sudah diketahui, sehingga nilai output yang dihasilkan pada jaringan ini akan dibandingkan dengan nilai output yang diinginkan (nilai target) yang dimana selisih antara nilai output dan nilai target disebut error atau galat. Ketika nilai error yang dihasilkan masih besar, maka harus dilakukan *training* ulang sampai mendapatkan nilai error yang kecil atau nilai output mendekati nilai target.

### 2. *Unsupervised Learning*

Algoritma *unsupervised learning* adalah algoritma yang tidak membutuhkan nilai output yang diinginkan dan hanya membutuhkan nilai input. Algoritma ini salah satu tipe algoritma yang digunakan untuk menarik kesimpulan dari data set. Pada algoritma *unsupervised learning* akan mencari pola tersembunyi dari dataset yang tidak membutuhkan proses *training* dan *testing*. Untuk menemukan pola tersembunyi *unsupervised learning* bekerja dengan menganalisa data yang tidak berlabel dan menentukan korelasinya.

### 3. *Reinforcement Learning*

*Reinforcement learning* merupakan algoritma *machine learning* untuk mendapatkan sebuah aksi yang tepat. Tipe algoritma ini yang dapat membuat agen *software* dan mesin bekerja secara otomatis untuk mendapatkan aksi yang ideal atau tepat agar membuat performa yang maksimal terhadap algoritmanya. Karakteristik penting dalam algoritma *reinforcement learning* yaitu tidak memerlukan supervisor sehingga hanya menggunakan bilangan real atau disebut reward, pengambilan keputusan

diambil secara beruntun. Selain itu, waktu sangat berperan penting dan *feedback* yang diterima selalu tertunda (*relay*). Algoritma ini memiliki dua tipe yaitu positif dan negatif. *Positive reinforcement learning* adalah proses ketika mesin bertindak atas suatu perintah yang diberikan, ini dapat digunakan untuk meningkatkan frekuensi dan kekuatan perilaku yang berdampak baik pada tindakan oleh mesin. *Negative reinforcement learning* adalah penguatan perilaku yang disebabkan kondisi negatif telah dihentikan, algoritma tipe ini membuat perilaku mesin meningkat, bekerja diatas standar minimum dan memaksimalkan kinerja sistem.

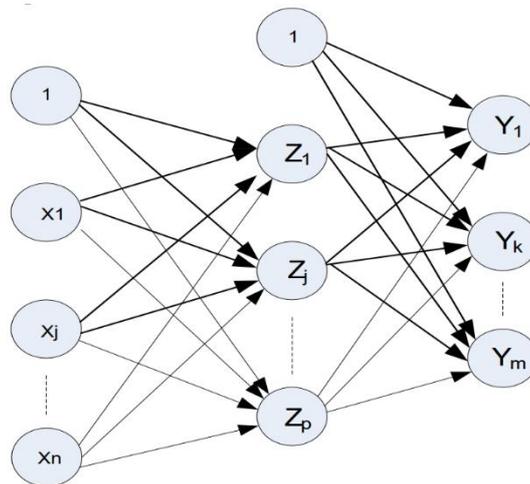
## **2.8. Laju Pembelajaran (*Learning Rate*)**

Laju Pembelajaran atau *learning rate* adalah parameter yang berpengaruh pada kinerja suatu jaringan terhadap waktu yang diperlukan dalam proses pelatihan agar mencapai nilai target yang optimal. Nilai *learning rate* ( $\alpha$ ) berada pada interval 0 sampai 1. Pengoptimalan yang dilakukan oleh *learning rate* yaitu merubah nilai bobot agar mendapatkan nilai error yang kecil. Beberapa kasus proses pelatihan membutuhkan iterasi atau pengulangan yang banyak sehingga memakan waktu yang cukup lama pada saat pelatihan. Oleh karena itu, diberikan suatu parameter seperti *learning rate* yang berguna untuk mempercepat iterasi dalam proses pelatihan.

Pertimbangan penting dalam kinerja jaringan adalah *learning rate* yang merupakan laju pembelajaran untuk perubahan bobot pada setiap langkah. Dalam proses pelatihan pemilihan *learning rate* yang besar akan menyebabkan tingkat akurasi pada jaringan semakin kecil atau dengan kata lain nilai error yang dihasilkan besar. Hal ini karena jumlah iterasi atau pengulangan pada jaringan semakin sedikit sehingga menyebabkan pola menjadi rusak karena kurangnya pemahaman. Namun sebaliknya jika nilai *learning rate* kecil maka tingkat akurasinya semakin tinggi dan nilai error yang semakin rendah tetapi dengan konsekuensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pelatihan akan lama.

## 2.9. Model Jaringan *Backpropagation*

Model *backpropagation* merupakan teknik pelatihan atau pembelajaran *supervised learning* pada *neural network* untuk mencari beban pada setiap neuron agar menghasilkan nilai kesalahan terkecil melalui data pelatihan yang diberikan. Ketika jaringan ini diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan, selanjutnya pola tersebut diteruskan ke lapisan tersembunyi untuk menuju unit-unit di lapisan keluaran. Kemudian unit-unit lapisan keluaran akan memberikan respon sebagai keluaran dari jaringan. Ketika hasil keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka keluaran akan disebarkan secara mundur pada lapisan tersembunyi menuju lapisan masukan.



**Gambar 2. 10** Struktur Jaringan *Backpropagation*

Tahapan pelatihan ini merupakan tahapan untuk melatih jaringan dengan cara melakukan perubahan bobot, sedangkan penyelesaian masalah akan dilakukan pada fase pengujian.

Pada metode ini, lapisan input akan menerima sinyal input dan melakukan komputasi dengan bobot awal yang didapatkan secara acak. Jika nilai output yang dihasilkan berbeda dengan nilai target maka jaringan akan melakukan penyesuaian terhadap bobot yang ada. Proses ini akan terus dilakukan sampai mendapatkan nilai output yang mendekati nilai target. Waktu yang diperlukan untuk melakukan proses pembelajaran tersebut cukup lama, sehingga pada proses pembelajaran akan dibatasi dan berhenti ketika selisih nilai output dan target sudah mencapai nilai

*error* yang kecil. *Learning rate* adalah besarnya penyesuaian nilai bobot pada setiap siklus pembelajaran yang ditentukan oleh parameter.

Adapun pelatihan *backpropagation* adalah dengan tahapan berikut ini :

1. Langkah ke – 0 : Inisialisasi bobot.
2. Langkah ke – 1 : Selama kondisi berhenti bernilai salah, kerjakan Langkah 2 – 9.
3. Langkah ke – 2 : untuk setiap data *training*, lakukan Langkah 3 – 8.

#### **Feedforward (Umpan Maju)**

4. Langkah ke – 3 : Setiap unit input ( $x_i, i = 1, \dots, n$ ) menerima sinyal input  $x_i$  dan menyebarkan sinyal tersebut ke seluruh unit tersembunyi. Perlu diketahui input  $x_i$  yang digunakan adalah data input *training* yang sudah diskalakan.
5. Langkah ke – 4 : Setiap unit tersembunyi ( $z_j, j = 1, \dots, p$ ) menjumlahkan sinyal input yang sudah berbobot termasuk biasnya.

$$X\_in_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \dots\dots\dots(3.1)$$

Selanjutnya menggunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output dari unit tersembunyi.

$$X_j = f(X\_in_j) \dots\dots\dots(3.2)$$

Kemudian mengirimkan sinyal output ke seluruh unit pada unit output.

6. Langkah ke – 5 : Tiap unit output ( $y_k, k = 1, \dots, m$ ), menjumlahkan bobot sinyal input :

$$y\_in_k = w_{0k} + \sum_{i=1}^n x_i w_{ik} \dots\dots\dots(3.3)$$

Selanjutnya menggunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output dari unit output

$$y_k = f(Y\_in_k) \dots\dots\dots(3.4)$$

#### **Backpropagation of Error (Propagasi Kesalahan)**

7. Langkah ke – 6 : Setiap unit output ( $y_k, k = 1, \dots, m$ ) menerima suatu pola target yang sesuai dengan pola input *training* untuk menghitung kesalahan antara target dan output yang dihasilkan.

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y\_in_k) \dots\dots\dots(3.5)$$

Faktor  $\delta_k$  digunakan untuk menghitung koreksi *error* ( $\Delta w_{jk}$ ) yang akan dipakai untuk memperbarui  $w_{jk}$ , dimana

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \dots\dots\dots(3.6)$$

Faktor  $\delta_k$  kemudian dikirimkan ke lapisan yang berbeda pada langkah ke – 7,

- 8. Langkah ke – 7 : Setiap unit tersembunyi ( $z_j, j = 1, \dots, p$ ) menerima input delta yang sudah berbobot

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^n \delta_k w_{jk} \dots\dots\dots(3.7)$$

Kemudian hasilnya dikalikan dengan turunan dari fungsi aktivasi yang digunakan jaringan untuk menghitung koreksi kesalahan, dimana

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \dots\dots\dots(3.8)$$

Faktor  $\delta_j$  digunakan untuk menghitung koreksi bobot ( $\Delta v_{ij}$ ) untuk memperbarui  $v_{ij}$

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \dots\dots\dots(3.9)$$

Selain itu juga dihitung koreksi bias ( $\Delta v_{0j}$ ) yang dipakai untuk memperbarui  $v_{0j}$ , dimana

$$\Delta v_{0j} = \alpha \delta_j \dots\dots\dots(3.10)$$

**Adjustment**

- 9. Langkah ke – 8 : Setiap unit output ( $y_k, k = 1, \dots, m$ ) memperbaiki bobot dan bias dari setiap unit tersembunyi.

$$w_{jk} \text{ baru} = w_{jk} \text{ lama} + \Delta w_{jk} \dots\dots\dots(3.11)$$

Demikian pula untuk setiap unit tersembunyi ( $z_j, j = 1, \dots, p$ ) akan memperbarui bobot dan bias dari setiap unit input.

$$v_{ij} \text{ baru} = v_{ij} \text{ lama} + \Delta v_{ij} \dots\dots\dots(3.12)$$

- 10. Langkah ke – 9 : Jika *stop condition* telah terpenuhi, maka pelatihan jaringan dapat dihentikan.

Keterangan :

- $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) : Neuron lapisan input
- $x_i$  : Sinyal input

$z_j$ ( $j = 1, \dots, p$ )	:	Neuron lapisan tersembunyi
$z_j$	:	Sinyal lapisan tersembunyi
$y_k$ ( $k = 1, \dots, m$ )	:	Neuron lapisan output
$y_k$	:	Sinyal output
$v_{0j}$	:	Bias dari lapisan input
$v_{ij}$	:	Bobot dari lapisan input
$w_{0k}$	:	Bias dari lapisan tersembunyi
$w_{jk}$	:	Bobot dari lapisan tersembunyi
$t_k$	:	Target output
$\delta_k$	:	Informasi error lapisan output
$\delta_j$	:	Informasi error lapisan tersembunyi
$\alpha$	:	Laju pembelajaran