

BAB II
www.itk.ac.id
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini akan dijelaskan mengenai referensi pustaka diantaranya korosi, aluminium *alloy*, *zinc alloy*, diagram fasa Al-Zn, *artificial neural network*, dan penelitian sebelumnya terhadap penelitian tugas akhir “Simulasi Pengaruh Unsur In, Cd, Si, Fe, dan Cu Terhadap Kapasitas Anoda Korban Berbasis Aluminium Menggunakan Artificial Neural Network”.

2.1 Korosi

Korosi merupakan kondisi penurunan kualitas logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Logam (Fe) yang teroksidasi (melepaskan elektron) semakin lama akan menjadi rapuh dan terkikis habis (Trethewey, 1991). Korosi juga sering dapat diartikan sebagai kerusakan material atau terdegradasi suatu material logam yang disebabkan oleh reaksi terhadap lingkungannya beserta kecenderungan secara spontan dari suatu material logam untuk kembali ke keadaan semula seperti yang ditemukan di alam (Fontana, 1986). Korosi secara umum lebih dikenal dengan istilah pengkaratan yang merupakan fenomena kimia material logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Penyelidikan tentang sistem elektrokimia telah banyak menjelaskan mengenai fenomena korosi, yaitu reaksi kimia antara material logam dengan zat-zat yang ada disekitarnya atau dengan partikel-partikel lain yang ada di dalam material logam. Sehingga dilihat dari sudut pandang kimia, fenomena korosi pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam dengan kontak langsung dengan lingkungan yang basah dan beroksigen. Korosi dapat terjadi pada korosi pada dua material logam dengan terjadi reaksi oksidasi dan reduksi seperti contoh material logam aluminium dan besi (Rahayu, 2009):



Dua buah material logam yang berdekatan atau dalam keadaan lingkungan yang basah dan mempunyai beda potensial yang berbeda maka akan terjadi fenomena daerah anoda dan katoda di kedua material logam tersebut. Pada reaksi aluminium (Al) mengalami oksidasi (pelepasan elektron) dan besi (Fe) mengalami reduksi (penerimaan elektron).

Fenomena korosi pada material logam secara elektrokimia terjadi karena komposisi kimia logam tidak homogen sehingga terjadilah penurunan kualitas logam. Reaksi ini adalah reaksi yang berlangsung secara tidak sengaja. Oleh karena itu, proses terkorosinya material logam oleh lingkungannya adalah proses yang spontan dan tidak dapat dikendalikan. Fenomena serangan korosi hanya dapat dikendalikan sehingga struktur dan komponen material logam mempunyai rentang waktu pakai yang lebih panjang. Walaupun demikian pengendalian korosi harus dilakukan semaksimal mungkin, karena dari segi ekonomi dan keamanan merupakan hal yang tidak dapat mungkin ditinggalkan maupun diabaikan (Widharto, 2004).

Teknologi perlindungan material logam yang telah dikenal umum saat ini menemukan solusi yang lebih baik dalam usaha pengendalian korosi. Karena biaya yang harus dikeluarkan dan penggunaan metode yang tersedia bisa disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan. Dalam metode pengendalian korosi dibedakan menjadi lima kategori, yaitu sebagai berikut.

A. Desain Parameter

Inovasi mengenai pengendalian korosi sebaiknya telah dilakukan sejak tahapan proses. Ilmuwan maupun para ahli dibidang korosi sebaiknya dilibatkan dalam merancang desain proses pemilihan material, pemilihan layout, saat pengerjaan sampai tahap pengembangannya. Beberapa cara pengendalian korosi dari segi desain parameter yang sering digunakan diantaranya yaitu sebagai berikut (Widharto, 2004):

1. Mencegah terbentuknya elektrolit,
2. Mencegah terbentuknya sel galvanic,
3. Mencegah korosi erosi atau abrasi akibat kecepatan aliran fluida,
4. Menjamin aliran fluida lancar,
5. Isolasi alat dari lingkungan yang korosif.

B. Pemilihan Material

Material konstruksi harus dipilih yang memiliki sifat tahan akan fenomena korosi. Apalagi jika material digunakan di lingkungan yang korosif. Ketahanan korosi pada setiap material tidak sama pada setiap kondisi lingkungan. Pada material tertentu akan sangat tahan terhadap korosi dibandingkan material lainnya pada kondisi lingkungan tertentu. Diantara material konstruksi yang paling sering digunakan adalah besi, aluminium, timah, nikel, tembaga, dan titanium (Widharto,2004).

C. Perlakuan Lingkungan

Kondisi perlakuan lingkungan ini sangat penting dalam pengendalian fenomena korosi di sektor industri. Kondisi pada sektor industri dengan lingkungan korosif diupayakan menjadi tidak korosif atau kurang korosif. Ada dua macam cara perlakuan lingkungan yaitu (Widharto,2004):

1. Pengubahan media/elektrolit

Contohnya penurunan temperatur, penurunan kecepatan aliran pada fluida, penghilangan oksigen atau oksidator, serta pengubahan konsentrasi elektrolit.

2. Penggunaan inhibitor

Inhibitor merupakan suatu bahan kimia yang jika ditambahkan dalam jumlah yang sedikit kepada material di lingkungan media yang korosif, akan menurunkan kecepatan korosi pada material tersebut. Inhibitor bekerja untuk menghambat laju korosi.

D. Pelapisan Pelindung

Kategori perlindungan korosi berikutnya dengan cara memberi lapisan pelindung (*coating protection*). Pelapisan biasanya dimaksudkan untuk memberikan suatu lapisan padat dan merata sebagai bahan isolator atau penghambat aliran listrik diseluruh bagian permukaan logam yang dilindungi. Fungsi dari lapisan tersebut adalah untuk mencegah logam dari kontak langsung dengan elektrolit dan lingkungan sehingga reaksi logam dan lingkungan terhambat (Fachri,2011).

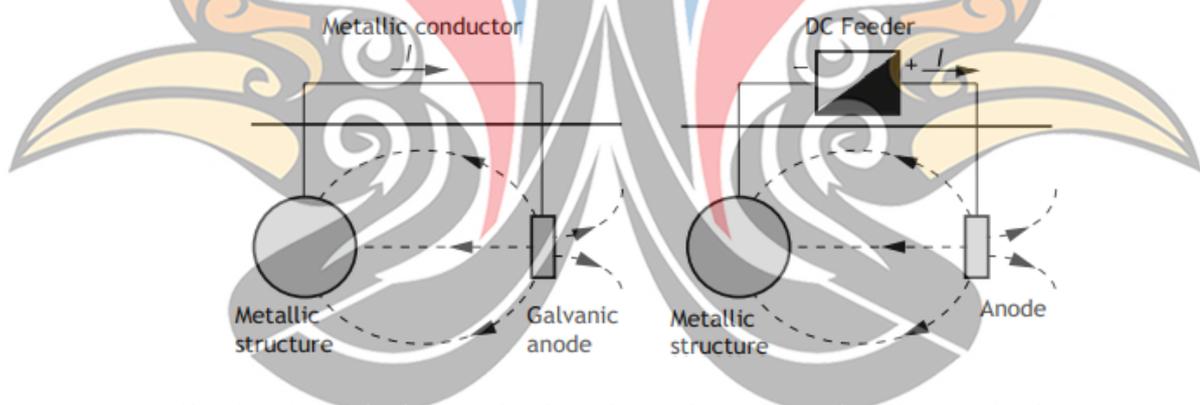
Lapisan penghalang yang dikenakan ke permukaan logam dimaksudkan baik untuk memisahkan lingkungan dari logam, maupun untuk mengendalikan lingkungan mikro pada permukaan logam. Banyak cara pelapisan yang digunakan

diantaranya cat pelapis, selaput organic, vernis, lapisan logam, dan enamel. Secara umum yang digunakan pada industri saat ini adalah cat pelapis (Trethewey,1991).

E. Proteksi Katodik

Perlindungan katodik merupakan teknik kontrol korosi elektrokimia yang digunakan untuk mencegah korosi pada logam, dengan menurunkan potensial melalui arah searah katodik yang disuplai oleh sistem anodik. Beberapa contoh kasus yang dapat diaplikasikan jenis proteksi katodik ini diantaranya yaitu (Pedefferri, 2018):

1. Penggunaan ruangan bawah tanah seperti jaringan pipa gas, jaringan pipa, saluran air bawah tanah, dan tangki.
2. Penggunaan struktur laut terbuka seperti pelabuhan, industri hulu lepas pantai, dan lambung kapal.
3. Penggunaan pada alat pertukaran panas seperti heat exchanger, dan pipa saluran air laut lainnya.



Gambar 2.1 Prinsip proteksi katoda: a) dengan anoda galvanic; b) dengan mengatur arus (Pedefferri, 2018).

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1, proteksi dilakukan dengan mentransfer elektron melalui sirkulasi arus antara elektroda (anoda) yang bersentuhan dengan lingkungan dan struktur (katoda). Sirkulasi ini dilakukan dengan dua jenis perlindungan katodik yaitu diantaranya galvanis (logam korban) anoda (GACP) dan pengaturan arus (ICCP). Sementara pada gambar 2.1a, menunjukkan GACP yang diperoleh dengan menggunakan logam yang kurang mulia. Sebagai contoh, aluminium dan seng digunakan untuk perlindungan material logam di lingkungan air laut, magnesium di lingkungan tanah dan air tawar. Material logam biasanya digunakan untuk melindungi paduan tembaga dan baja

tahan karat. Kemudian gambar 2.1b, menunjukkan skema listrik ICCP dengan menggunakan sistem pemberian DC dengan kutub negatif yang terhubung ke struktur dan positif ke anoda, sebagai contoh seperti grafit, silikon, atau platina yang diaktifkan (Pedefferri, 2018).

2.2 Aluminium Alloy

Alumina adalah salah satu elemen logam padat yang paling umum di bagian kerak bumi, terdiri dari sekitar kurang lebih 8%. Serta dalam bentuk paduan, biasanya paduan oksida terhidrasi, dimana bauksit adalah unsur utamanya. Logam aluminium sangat aktif secara termodinamika dan berusaha untuk kembali ke keadaan teroksidasi alami melalui proses fenomena korosi. Aluminium adalah logam kedua setelah besi dalam hal produksi dan konsumsi serta merupakan logam kedua setelah besi dalam kategori produksi dan konsumtif serta merupakan salah satu logam terpenting (Schweitzer, 2007).

Sebagian besar elemen logam mudah dipadukan dengan aluminium, tetapi hanya sedikit yang merupakan bahan paduan utama yang penting dalam paduan berbasis aluminium komersial. Namun disamping hal itu, sejumlah besar elemen lain berfungsi sebagai tambahan paduan tambahan untuk meningkatkan sifat dan karakteristik paduan. Banyak fasa intermetalik biner yang dibentuk oleh reaksi aluminium dengan berbagai unsur logam, berikut merupakan tabel kelarutan liquid dan solid pada aluminium alloy ditunjukkan pada tabel berikut (Hatch, 1984).

Tabel 2.1 Reaksi Dalam Paduan Biner Aluminium Alloy (Hatch, 1984).

Element	Temperature (°C)	Liquid Solubility (wt%)	Solid Solubility (wt%)
Cd	650	6,7	0,47
Cu	550	33,15	5,67
Fe	655	1,87	0,052
In	640	17,5	0,17
Si	580	12,6	1,65
Zn	380	95,0	82,8

Tabel 2.2 Karakteristik sifat aluminium (Vargel,2004).

Property	Unit	Value	Note
<i>Atomic number</i>		13	
<i>Density</i>	$kg.m^{-3}$	2.698	
<i>Melting point</i>	$^{\circ}C$	660,45	$< 1013 \times 10^{-3} bar$
<i>Boiling point</i>	$^{\circ}C$	2.056	$< 1013 \times 10^{-3} bar$
<i>Vapour pressure</i>	Pa	3.7×10^{-3}	at $927^{\circ}C$
<i>Mass internal energy</i>	$J.kg^{-1}$	3.98×10^5	
<i>Mass thermal capacity</i>	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	897	at $25^{\circ}C$
<i>Thermal conductivity</i>	$W.m^{-1}.K^{-1}$	237	at $27^{\circ}C$
<i>Linear expansion coefficient</i>	$10^{-6}.K^{-1}$	23,1	at $25^{\circ}C$
<i>Electrical resistivity</i>	$10^{-9}\Omega.m$	26,548	at $25^{\circ}C$
<i>Magnetic susceptibility</i>		0.6×10^{-3}	at $25^{\circ}C$
<i>Longitudinal elasticity modulus</i>	MPa	69.000	
<i>Poisson's ratio</i>		0,33	

Perkembangan aplikasi material aluminium dan paduannya, serta kebutuhan akan aluminium terus meningkat dapat dikaitkan dengan beberapa sifatnya yang merupakan kriteria dalam menentukan pilihan penggunaan material, khususnya di bidang transportasi, bangunan properti, kelistrikan, hingga keteknikan. Berikut merupakan keuntungan dari material aluminium diantaranya yaitu (Vargel, 2004):

1. Material ringan
2. Konduktivitas termal dan listrik
3. Ketahanan korosi

4. Perbedaan paduan aluminium
5. Keunggulan akan fungsi cor dan semi ekstrusi
6. Mudah dibentuk
7. Mampu daur ulang

Sifat mekanik, sifat fisik, dan kimia dari paduan aluminium bergantung pada komposisi kimia dan struktur mikro. Penambahan elemen terpilih pada aluminium murni sangat meningkatkan sifat dan sifat kegunaannya. Oleh karena itu, Sebagian besar penggunaan untuk aluminium menggunakan paduan yang memiliki satu atau lebih elemen tambahan. Penambahan paduan utama yang digunakan dengan aluminium adalah tembaga, mangan, silikon, magnesium, dan seng. Unsur elemen lain juga ditambahkan dalam jumlah yang lebih kecil untuk perbaikan butir dan untuk mengembangkan sifat khusus. Jumlah total unsur-unsur ini dapat Menyusun hingga 10%wt komposisi paduan. Unsur elemen pengotor, tetapi persentase total biasanya kurang dari 0.15% di paduan aluminium (Davis, 1999).

Klasifikasi dan penandaan pada paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua yaitu aluminium tempa dan aluminium cor. Paduan aluminium diklasifikasikan berdasarkan elemen unsur paduan utamanya melalui penomoran empat digit. Seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium berdasarkan penomoran (Schweitzer, 2007).

Series Designation	Major Alloying Ingredient
1XXX	Aluminium $\geq 99,0\%$
2XXX	Copper
3XXX	Manganese
4XXX	Silicon
5XXX	Magnesium
6XXX	Magnesium dan Silicon
7XXX	Zinc
8XXX	Other Element
9XXX	Unused Series

Dalam kelompok 1XXX, digit kedua menunjukkan kemurnian aluminium yang digunakan untuk pengelompokan. Angka nol pada kelas 10XX menunjukkan bahwa aluminium pada dasarnya memiliki kemurnian komersial, sedangkan angka kedua dari 1–9 menunjukkan kontrol khusus dari satu atau lebih elemen pengotor individu. Dalam kelompok paduan 2XXX-7XXX, digit kedua menunjukkan modifikasi paduan. Jika digit kedua adalah nol, paduan tersebut adalah paduan asli, sedangkan nomor 1–9 ditetapkan secara berurutan saat paduan asli dimodifikasi. Dua yang terakhir digit hanya berfungsi untuk mengidentifikasi paduan yang berbeda dalam pengelompokan (Schweitzer, 2007).

Tabel 2.4 Paduan Aluminium dan Penandaan Unsur Paduan (Schweitzer, 2007)

Series Designation	Alloying Materials
1XXX	99,9% min Al
2XXX	Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Li, Al-Cu-Mg-Si
3XXX	Al-Mn, Al-Mn-Mg
4XXX	Al-Si
5XXX	Al-Mg, Al-Mg-Mn
6XXX	Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Mn, Al-Mg-Si-Cu
7XXX	Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Mn, Al-Zn-Mg-Cu

Pengaruh unsur-unsur paduan terhadap paduan aluminium dikelompokkan sebagai berikut (Davis, 1999).

1. Tembaga adalah salah satu tambahan unsur paduan terpenting pada material aluminium. Unsur paduan tembaga ini memiliki kelarutan yang cukup besar dan efek penguatan substansial melalui karakteristik pengerasan yang diberikan pada aluminium. Banyak paduan mengandung tembaga baik sebagai tambahan utama khususnya (seri 2XXX atau 2XX.X) atau sebagai elemen paduan tambahan, dengan konsentrasi 1% sampai 10%).

2. Mangan memiliki kelarutan padat yang terbatas dalam aluminium akan tetapi dalam konsentrasi sekitar 1% akan membentuk unsur penting pada paduan aluminium tempa yang tidak dapat diolah dengan panas (seri 3xxx). Unsur paduan mangan ini digunakan secara luas sebagai tambahan unsur paduan yang dapat diolah dengan panas dan tidak dapat diolah dengan panas dan memberikan

peningkatan nilai kekuatan.

3. Silikon menurunkan titik leleh dan meningkatkan fluiditas (meningkatkan karakteristik pengecoran) dari aluminium (peningkatan kekuatan yang signifikan juga dikarenakan oleh penambahan silikon).

4. Magnesium memberikan sifat penguatan dan peningkatan karakteristik pengerasan dari aluminium. Unsur paduan mangan juga memiliki kelarutan yang relatif tinggi pada aluminium, tetapi paduan Al-Mg yang mengandung kurang dari 7% Mg (seri 5XXX) tidak menunjukkan karakteristik perlakuan panas yang berarti. Magnesium juga ditambahkan dalam kombinasi dengan unsur-unsur lain, bukan tembaga dan seng yang mampu, untuk meningkatkan kekuatan instrumen yang lebih besar.

5. Seng digunakan dalam paduan pengecoran dan dalam hubungannya dengan magnesium dalam paduan tempa untuk menghasilkan paduan yang dapat diolah panas (seri 7xxx) yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan aluminium (Davis, 1999).

2.3 Zinc Alloy

Seng dan paduannya digunakan dalam bentuk cor dan tempa dalam aplikasi teknik sebagai komponen dan paduan unsur lainnya. Aplikasi teknik penting lainnya didasarkan pada sifat lapisan seng dan paduan seng yang diterapkan pada baja untuk perlindungan korosi. Seng dan paduannya, sistem peruntukannya, pemrosesan termal-mekanis (TMP), sifat fisik, mekanis, dan kimiawi, dan bidang aplikasi. Nilai dan paduan seng yang paling banyak digunakan secara komersial telah ditentukan dalam standar ASTM. Sistem Penomoran Terpadu (UNS) telah diterapkan secara luas pada paduan seng dan seng, ada hampir 100 sebutan UNS untuk seng. Penggunaan seng yang signifikan adalah sebagai elemen paduan di beberapa sistem paduan lainnya. Penggunaan utamanya adalah dengan tembaga untuk membentuk kuningan dan perunggu di mana seng sering kali merupakan 30-40% berat komposisi paduan. Penambahan seng pada aluminium cor dan tempa adalah penggunaan penting lainnya. Paduan berbasis dasar magnesium dan timah mengandung seng seperti halnya sejumlah paduan matriks dan solder yang kompleks dan meleleh rendah yang mungkin mengandung, selain seng, unsur-unsur

seperti kadmium, perak, timbal, timah, aluminium, tembaga, antimon, besi, nikel, bismut, mangan, fosfor, silikon, atau emas (Lynch, 2001).

Tabel 2.5 Komposisi Zinc Die Castings (% wt.) (Lynch, 2001).

Alloy Designation	3	5	7	2
Copper	0,25	0,75-1,25	0,25	2,5-3,0
Aluminium	3,5-4,3	3,5-4,3	3,5-4,3	3,5-4,3
Magnesium	0,020-0,05	0,03-0,08	0,005-0,020	0,020-0,050
Iron	0,100	0,100	0,075	0,100
Lead	0,005	0,005	0,0030	0,005
Cadmium	0,004	0,004	0,0020	0,004
Tin	0,003	0,003	0,0010	0,003
Nickel	-	-	0,005-0,020	-
Zinc	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder

Tabel 2.6 Sifat Fisik Zinc Die Castings (Lynch, 2001).

Alloy Designation	3 (7)	5	2
Density at 21°C (gcm^{-3})	6,6	6,7	6,6
Solidification Temperature range (°C)	387-381	386-380	390-379
Specific heat capacity at 20-100°C ($J kg^{-1}K^{-1}$)	418,7	418,7	418,7
Solidification Shrinkage (%)	1,17	1,17	1,25
Coefficient of thermal expansion ($10^{-6}K^{-1}$)	27,4	27,4	27,7
Thermal Conductivity at 70-140°C ($Wm^{-1}K^{-1}$)	113,0	108,9	104,7
Electrical conductivity (1% IACS)	27	26	25
Electrical resistivity at 20°C ($10^{-8}\Omega m$)	6,4	6,5	6,9
Diemakers shrinkage mm^{-1}	0,007	0,007	0,007

Tabel 2.7 Sifat Mekanik Zinc Die Castings di Temperatur Ruang (Lynch, 2001).

Alloy Designation	3	5	7	2
Ultimate tensile strength (MPa)	283	328	283	359
Yield stress, 0.2% offset (MPa)	221	228	221	-
Elongation in 50mm (%)	10	7	13	7
Hardness, Brinell 500kg	82	91	80	100
Shear Strength (MPa)	214	262,0	214	317
Compressive strength 0.1% offset (MPa)	414	600	414	641
Impact strength (J)	58	65	58	47
Fatigue Strength 5×10^8 cycles (MPa)	47,6	56,5	46,9	58,6
Young modulus (MPa)	85,5	85,5	85,5	85,5

Pengaruh unsur-unsur paduan terhadap paduan zinc dikelompokkan sebagai berikut (Lynch, 2001).

1. Aluminium, penambahan unsur paduan aluminium pada seng memiliki efek menguntungkan untuk meningkatkan kekuatan, mengurangi ukuran butir, dan menurunkan laju pelarutan seng dalam besi dan baja, sehingga memungkinkan untuk dilakukan untuk penggunaan die-casting.

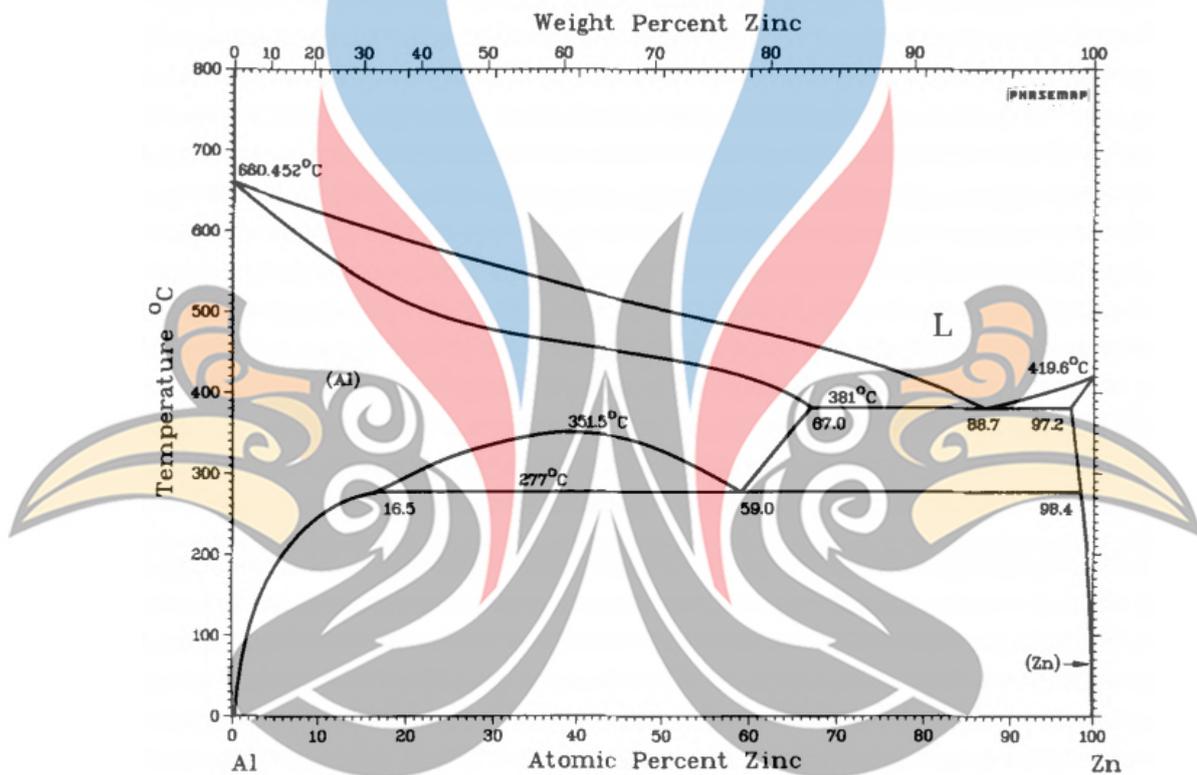
2. Tembaga, dalam jumlah kecil unsur yang dipadukan akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan, tetapi dikontrol hingga batas maksimum untuk

mencegah efek merugikan pada kekuatan benturan dan stabilitas dimensi.

3. Nikel, dalam jumlah unsur paduan yang terkontrol untuk menetralkan efek unsur elemen yang mendorong korosi antar butir.

4. Magnesium, unsur paduan penting tambahan untuk paduan seng untuk mencegah terjadinya korosi intergranular (Lynch, 2001).

2.4 Diagram Fasa Al – Zn



Gambar 2.2 Diagram Fasa Al-Zn (Murray,1983).

Bagian diagram *equilibrium*, fasa tunggal solid (A1) memiliki perpanjangan kisaran komposisi, di interupsi oleh celah *miscibility*. Daerah (A1) padat terkadang dilambangkan α atau α' untuk membedakan antara komposisi Al dan banyak Zn. (A1) fasa liquidus dan solidus turun ke kesetimbangan eutektik dengan cph (Zn) pada temperatur 381°C dan 277°C kesetimbangan eutektoid dari α , α' dan (Zn) terjadi. Mendekati komposisi equiatomik, kurva (A1) solidus memiliki infleksi yang disebabkan oleh dekatnya gap *miscibility* fcc. Tiga fasa kesetimbangan dan transformasi logam murni yang menentukan topologi diagram dirangkum pada tabel berikut (Murray, 1983).

Tabel 2.8 Poin Penting pada Diagram Fasa Al-Zn (Murray, 1983).

Fasa	Komposisi at %Zn			Temperatur °C	Tipe
$L \leftrightarrow (\alpha'Al) + (Zn)$	88,7	67,0	97,2	381	Eutektik
$(\alpha'Al) \leftrightarrow (\alpha Al) + (Zn)$	59	16,5	98,4	277	Eutektoid
$(Al) \leftrightarrow (\alpha Al) + (\alpha'Al)$	-	39,5	-	351,5	Critical
$L \leftrightarrow (Al)$	-	0	-	660,452	Congruent
$L \leftrightarrow (Zn)$	-	100	-	419,58	Congruent

Kurva liquidus, solidus, dan solvus terbentuk dengan baik. Evaluasi terkait diagram fasa untuk fasa $(\alpha'Al)$ dipisahkan menjadi dua fasa fcc yang berbeda, dipisahkan oleh daerah dua fasa yang berhimpit pada 50%. Daerah dua fasa ini memotong solidus pada temperatur 443°C dan pada celah (αAl) miscibility di 340°C. Diagram yang dinilai saat ini tidak memasuki reaksi-reaksi dan hanya sedikit berbeda dari versi sebelumnya. *Metastable miscibility* untuk pemisahan endapan koheren dari (Al) dibuat (Murray, 1983).

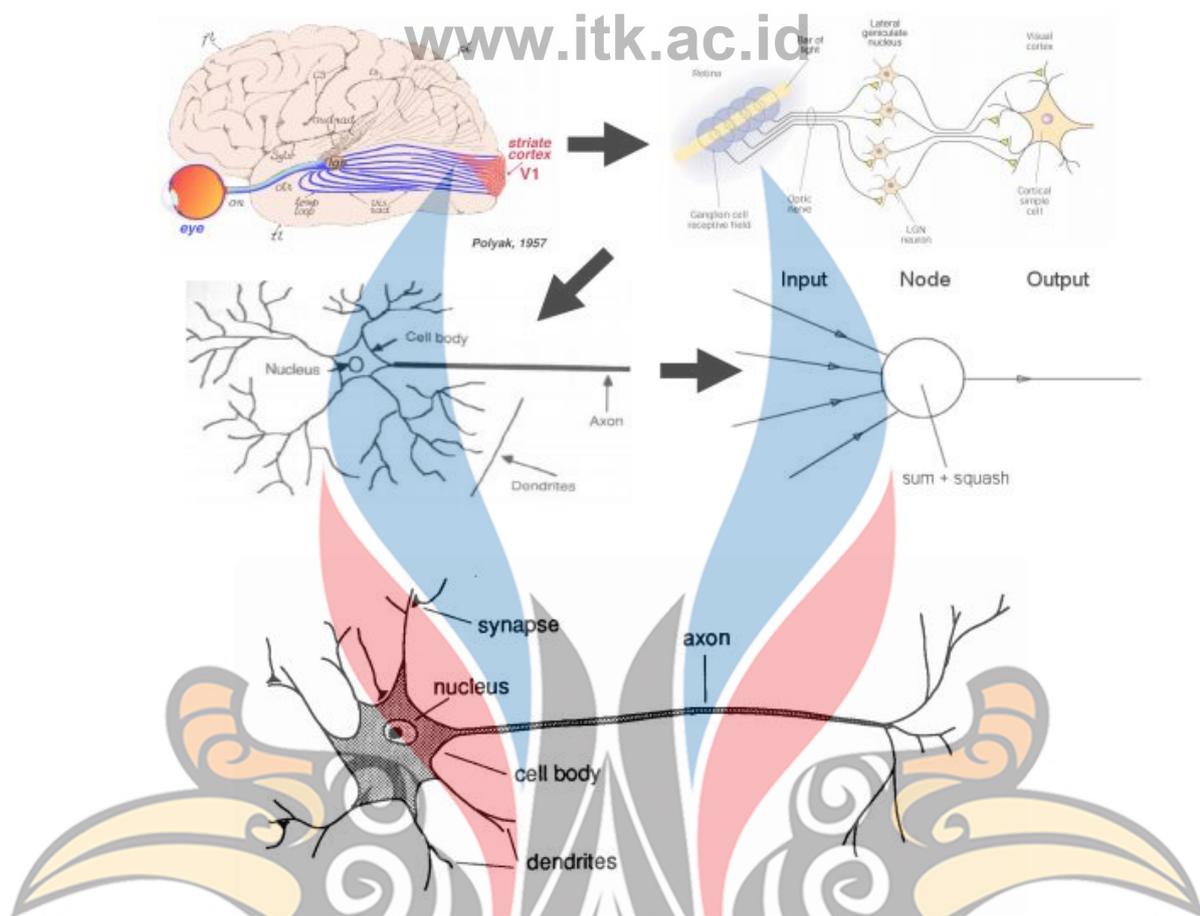
Liquidus, aluminum meleleh pada temperatur 660,45°C dan zinc meleleh pada 420°C. Diagram, fasa adalah tipe eutektik, temperatur eutektik dan komposisinya adalah $381 \pm 1^\circ C$ dan 88.7 ± 0.2 at.%Zn. Temperatur eutektik yang dilaporkan berkisar 380 hingga 382°C. Komposisi eutektik yang dilaporkan berkisar dari 88,5 hingga 89,5 pada %Zn. Liquidus zinc menunjukkan temperatur liquidus yang tinggi dan secara termodinamik dikesampingkan oleh panas fusion Zn yang diketahui. Liquidus terletak sekitar 1 hingga 3°C dibawah kurva liquidus.

Solidus, aluminum batas fase sistem ini memotong horizontal eutektik (381°C) pada komposisi 67%Zn. Solidus pada gambar 2.2 didasarkan pada studi mikroskopis dari beberapa sumber dan pada temperatur tinggi. Perubahan komposisi yang besar terjadi pada komposisi 35%Zn terjadi pada padatan di kisaran temperatur selama perubahan menjadi solid. Beberapa sumber menunjukkan bahwa paduan dalam kisaran komposisi 30% hingga 50% terutama pada 38,2%Zn sangat tahan terhadap perlakuan homogenisasi. Pemisahan menyebabkan temperature leleh baru jadi yang rendah dalam paduan Al dan perluasan ketiadaan keseimbangan dari eutektik ke komposisi Al.

2.5 *Artificial Neural Network*

Kecerdasan buatan atau biasa dikenal sebagai *artificial intelligence* (AI) dapat didefinisikan sebagai cabang ilmu komputer yang berkaitan dengan otomatisasi perilaku cerdas. Definisi ini sangat sesuai dengan teori bahwa kecerdasan buatan (AI) adalah bagian dari ilmu komputer dan harus didasarkan pada prinsip teoritis dan terapan yang baik dari bidang aplikasinya. Prinsip-prinsip ini mencakup struktur data yang digunakan dalam representasi pengetahuan, algoritma yang diperlukan untuk menerapkan pengetahuan, dan Bahasa serta teknik pemrograman yang digunakan dalam implementasi kecerdasan buatan. *Artificial intelligence* banyak menawarkan media dan tempat untuk pengujian teori kecerdasan, teori ini dapat dinyatakan dalam bahasa program komputer dan akibatnya diverifikasi melalui pelaksanaan program di komputer. Kecerdasan buatan lebih mementingkan perluasan kapabilitas-kapabilitas ilmu komputer daripada dengan mendefinisikan batasan-batasan (Luger, 1998).

Artificial Neural Network merupakan konsep pembuatan struktur jaringan biologi, khususnya jaringan otak manusia. Otak manusia pada dasarnya belajar dari pengalaman. Ini merupakan bukti alami bahwa beberapa masalah yang berada di luar jangkauan komputer saat ini dapat diselesaikan dengan sendirinya. Pemodelan otak ini juga menjanjikan cara untuk mengembangkan solusi pada industri permesinan. Pendekatan baru untuk komputasi ini juga memberikan degradasi yang lebih baik selama kelebihan beban sistem daripada metode komputer konvensional. Metode komputasi yang terinspirasi secara biologis ini merupakan sebagai kemajuan besar dalam industri komputasi. Proses penyimpanan informasi sebagai pola, memanfaatkan pola tersebut, dan kemudian memecahkan masalah mencakup bidang baru dalam komputasi. Bidang ini, seperti disebutkan sebelumnya, tidak menggunakan program konvensional melainkan melibatkan pembuatan jaringan parallel besar-besaran dan pelatihan jaringan tersebut untuk memecahkan masalah. Bidang ini juga menggunakan bahasa komputasi yang sangat berbeda seperti perilaku, bereaksi, mengatur diri sendiri, pembelajaran, menggeneralisasi (Anderson, 1992).

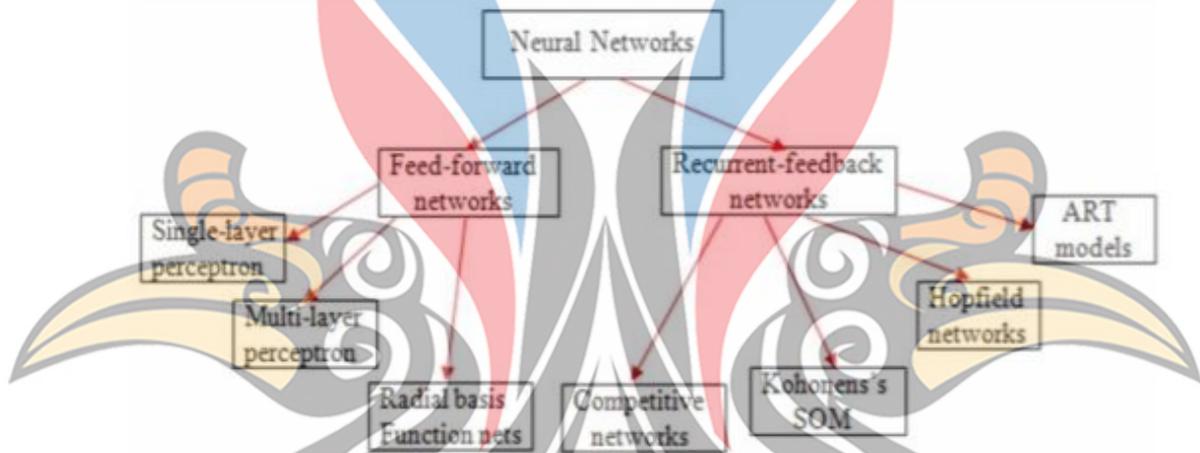


Gambar 2.3 Struktur dasar *Artificial Neural Network* dan Struktur sederhana sebuah neuron (Munazar, 2012).

Berdasarkan gambar 2.3 dapat ditinjau bahwa setiap sel saraf mempunyai satu inti sel (Nukleus). Inti sel akan bertugas melakukan proses pembelajaran informasi. Informasi sel akan diterima oleh dendrit yang merupakan *cell body*. Selain menerima informasi, dendrit juga menyertai axon sebagai keluaran dari suatu pemrosesan informasi. Informasi hasil olahan ini akan menjadi masukan bagi sel saraf lain dimana antar dendrite tersebut akan dipertemukan dengan sinapsis. Informasi yang dikirimkan antar neuron berupa jaringan yang dilewatkan melalui dendrite. Informasi yang datang dan diterima oleh dendrite akan dijumlahkan dan dikirimkan melalui axon ke dendrite akhir yang bersentuhan dengan dendrite dari sel saraf lain. Informasi yang akan diterima oleh neuron lain jika memenuhi batasan tertentu yang lebih dikenal sebagai *threshold* (nilai ambang). Secara khusus dapat dikatakan bahwa setiap unit komputasi dihitung dari beberapa fungsi *input*

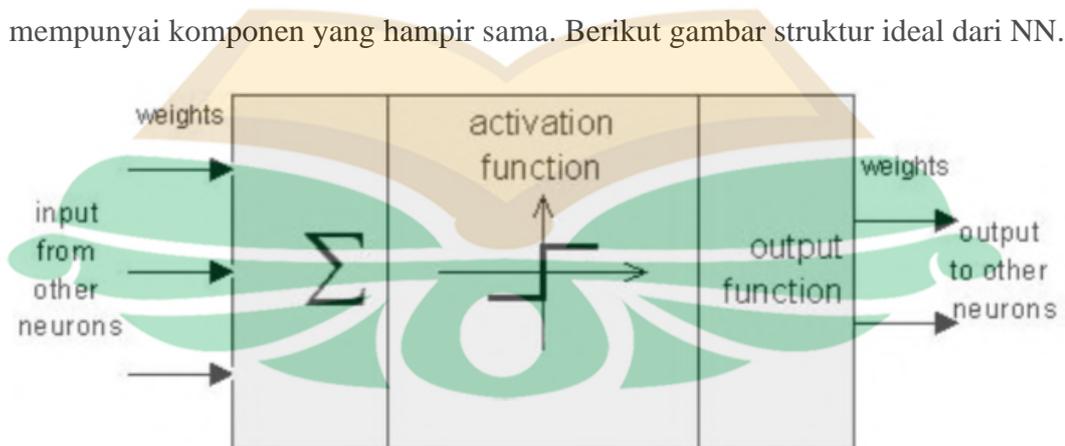
(Munazar, 2012).

Mengenai pengelompokan *Artificial Neural Network*, ada pula yang membagi ke dalam dua kelompok, yaitu *Artificial Neural Network* umpan maju (*feed-forward networks*) dan *Artificial Neural Network* berulang atau umpan balik (*recurrent / feedback networks*). *Artificial Neural Network* umpan maju adalah graf yang tidak mempunyai loop, loop merupakan lapisan hasil output yang akan memberikan input lagi bagi lapisan input, sedangkan *Artificial Neural Network* berulang atau umpan balik dicirikan dengan adanya loop-loop koneksi balik. Jika mengikuti aturan ini, taksonomi *Artificial Neural Network* akan tampak seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Taksonomi *Artificial Neural Network* beserta nama-nama algoritma pembelajaran (Jaya dkk, 2018).

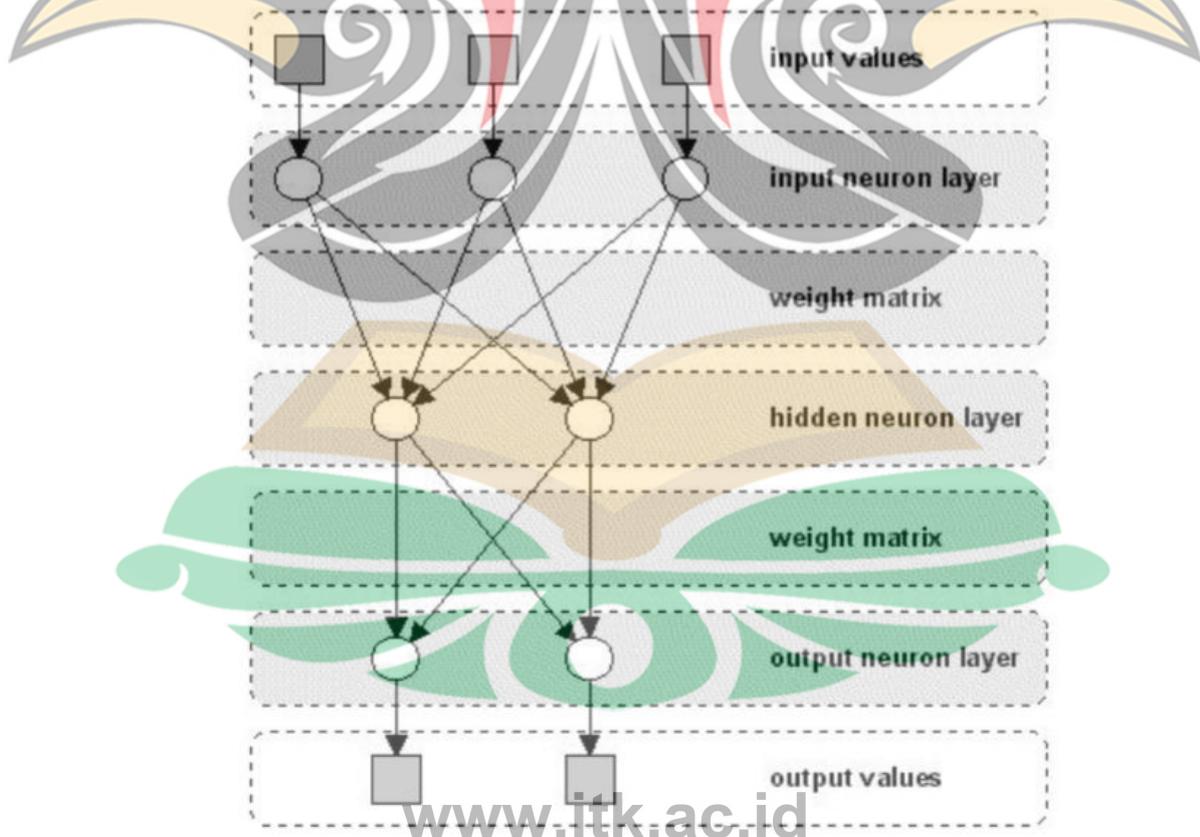
Terdapat banyak struktur *neural network* (NN), akan tetapi beberapa mempunyai komponen yang hampir sama. Berikut gambar struktur ideal dari NN.



Gambar 2.5 Struktur Ideal Neural Network (Munazar, 2012).

Pada gambar 2.5 menunjukkan struktur NN mirip dengan struktur otak manusia seperti pada gambar 2.3, informasi (sebagai input) dikirim ke neuron melalui suatu pembobotan input. Input ini diproses oleh suatu fungsi propagation (penyebaran) yang menaikkan nilai bobot input. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan threshold oleh activation function (aktifasi fungsi). Jika input melalui threshold, maka neuron akan diaktifkan, jika sebaliknya maka neuron akan inhibit. Jika diaktifkan, *neuron* akan mengirim output melalui pembobotan output ke neuron lainnya, begitupun seterusnya (Munazar, 2012).

Didalam *neural network* (NN), neuron dikelompokkan dalam layer, yang disebut neuron layer. Biasanya setiap neuron dari sebuah layer dihubungkan ke semua neuron yang ada di layer belakang maupun depannya (kecuali input dan output). Informasi yang dikirimkan dalam sebuah NN, dipropagasi *layer-per-layer* dimulai dari input hingga output tanpa atau melalui satu atau lebih hidden layer. Bergantung pada algoritma yang digunakan pada model. Informasi juga dapat di propagasi kearah belakang (*backpropagation*). Berikut merupakan gambar menunjukkan NN dengan tiga neuron layer.



Gambar 2.6 *Neural network* tiga neuron layer (Munazar,2012).

Pembagian arsitektur *Artificial Neural Network* dapat dilihat dari kerangka kerja dan skema interkoneksi. Kerangka kerja *Artificial Neural Network* dapat dilihat dari jumlah lapisan (*layer*) dan jumlah node pada setiap lapisan. Lapisan-lapisan penyusun *Artificial Neural Network* dapat dibagi menjadi tiga, yaitu sebagai berikut (Jaya dkk, 2018):

1. Lapisan *Input*

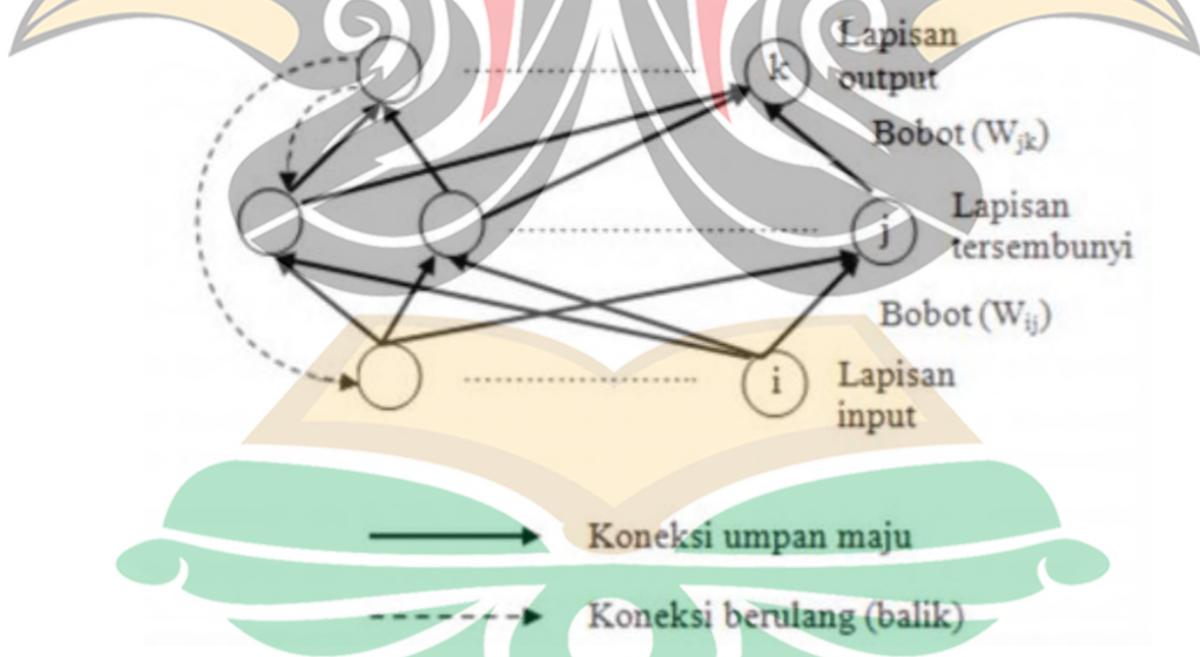
Node-node didalam lapisan input disebut unit-unit input. Unit-unit input menerima input dari dunia luar. Input yang dimasukkan merupakan penggambaran data suatu masalah.

2. Lapisan Tersembunyi

Node-node didalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi. Output dari lapisan ini tidak secara langsung dapat diamati.

3. Lapisan *Output*

Node-node pada lapisan output disebut unit-unit output. Keluaran atau output dari lapisan ini merupakan output *Artificial Neural Network* terhadap suatu permasalahan (Jaya dkk, 2018).



Gambar 2.7 *Artificial Neural Network* Multilayer neural network (Jaya dkk, 2018).

Ditunjukkan pada gambar 2.7 merupakan salah satu contoh arsitektur *Artificial Neural Network* multilayer yang terdiri dari sebuah lapisan input, sebuah

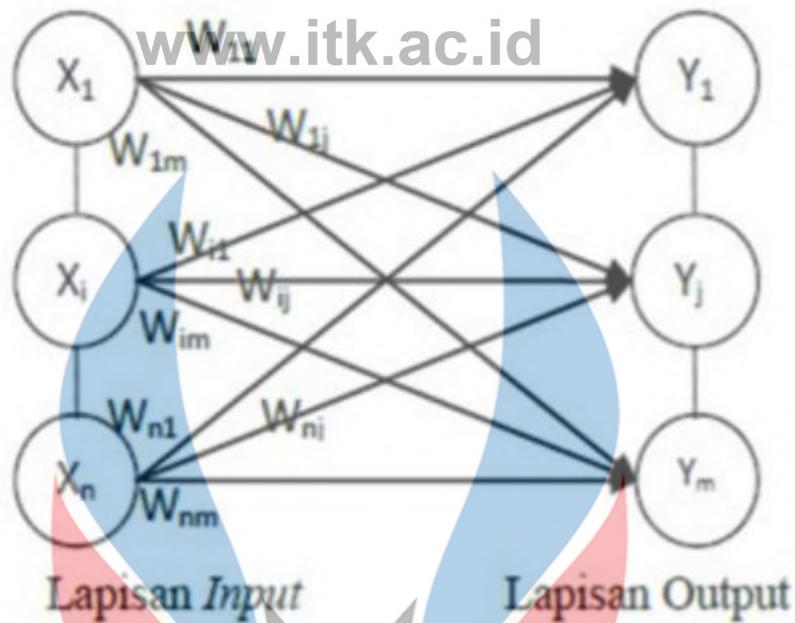
lapisan tersembunyi, dan sebuah lapisan output. Bobot (W_{ij}) merupakan bobo antara lapisan input dengan lapisan tersembunyi, sedangkan bobot (W_{jk}) adalah bobot antara lapisan tersembunyi dengan lapisan output. Sebuah neuron (disebut juga node atau unit) terletak didalam lapisan input akan memiliki fungsi aktivasi dan pola koneksi bobot yang dengan neuron-neuron lainnya yang terletak didalam lapisan input. Demikian halnya dengan sebuah neuron yang terletak didalam lapisan tersembunyi akan memiliki aktivasi dan pola koneksi bobot yang sama dengan neuron-neuron lainnya yang terletak didalam lapisan tersembunyi. Begitupula seterusnya, untuk neuron-neuron pada lapisan output juga berlaku hal yang serupa (Jaya dkk, 2018).

Pada gambar 2.7 ditunjukkan pada gambar dengan panah dengan garis putus-putus adalah koneksi balik (*Recurrent networks* atau *Feedback networks*). Ciri dari *Artificial Neural Network* yang memiliki arsitektur ini adalah adanya loop-loop koneksi umpan balik. Sedangkan tanda panah dengan garis tidak terputus-putus merupakan *Artificial Neural Network* koneksi umpan maju (*feed forward network*) yang bergerak maju dan tidak memiliki loop. Dengan menerapkan fungsi aktivasi ke dalam bobot dan input dilakukan perhitungan yang hasilnya dianggap sebagai sinyal berbobot yang diteruskan ke lapisan di atasnya. Sinyal berbobot inilah yang menjadi input bagi lapisan di atasnya. Kemudian diterapkan lagi fungsi aktivasi pada lapisan ini untuk menghitung output jaringan. Proses ini akan terus berulang sampai kondisi berhenti terpenuhi (Jaya dkk, 2018).

Artificial Neural Network dibagi menjadi tiga arsitektur, yaitu sebagai berikut :

1. Jaringan lapis tunggal

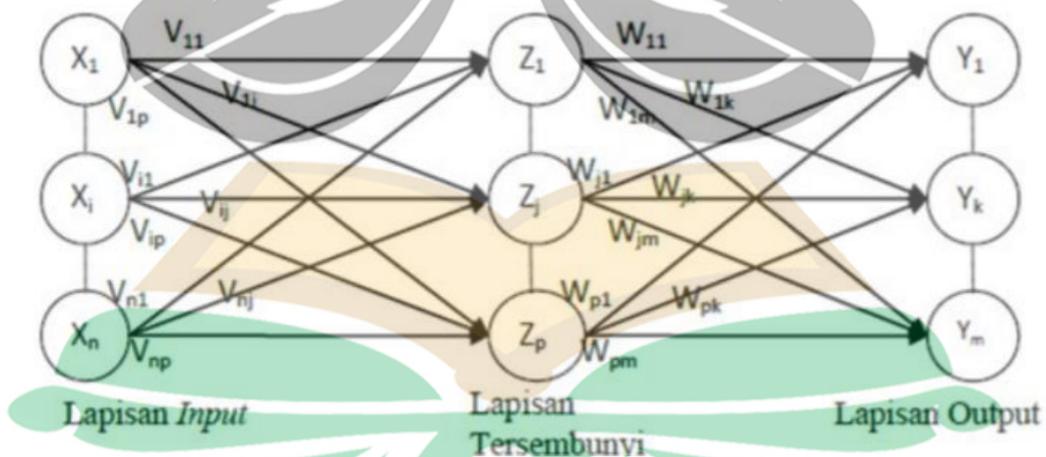
Jaringan yang memiliki arsitektur jenis ini hanya memiliki satu buah lapisan bobot koneksi. Jaringan lapisan tunggal terdiri dari unit-unit input yang menerima sinyal dari dunia luar, dan unit-unit input yang menerima sinyal dari dunia luar, dan unit-unit output dimana kita bisa membaca respon dari *Artificial Neural Network* tersebut.



Gambar 2.8 Jaringan Lapis Tunggal (Single-layer net) (Jaya dkk, 2018).

2. Jaringan multilapis

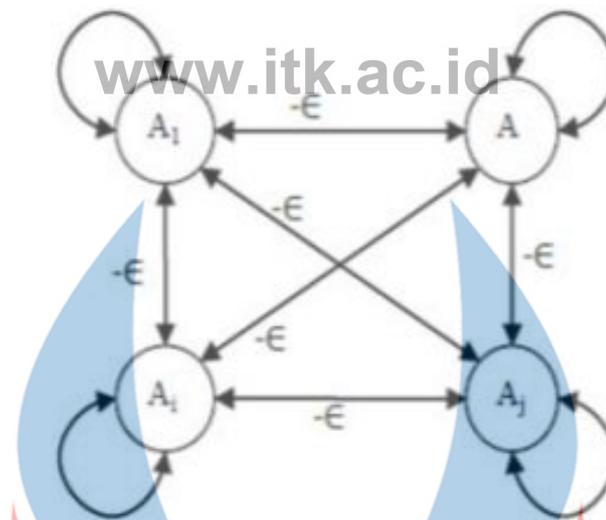
Jaringan multilapis merupakan jaringan dengan satu atau lebih lapisan tersembunyi. Multilayer net ini memiliki kemampuan lebih dalam memecahkan masalah bila dibandingkan dengan single layer net, namun pelatihannya mungkin lebih rumit.



Gambar 2.9 Jaringan Multilapis (Multilayer-net) (Jaya dkk, 2018).

3. Jaringan kompetitif

Pada jaringan ini sekumpulan neuron bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif.



Gambar 2.10 Jaringan Kompetitif (competitive layer) (Jaya dkk, 2018).

2.5.1 Tipe Jaringan *Supervised Learning* pada ANN

Jaringan *supervised learning* atau dikenal sebagai metode pelatihan terbimbing pada jaringan merupakan metode pelatihan yang memasukkan target keluaran dalam data sebagai proses pelatihannya. Ada beberapa metode pelatihan terbimbing diantaranya jaringan lapis tunggal, jaringan multi lapis, dan *back propagation*. Metode *back propagation* (BP) merupakan metode yang paling banyak digunakan hingga saat ini, begitu juga yang telah memodifikasi sehingga lebih memberikan efektifitas pada kinerjanya (Anderson, 1992).

Algoritma *supervised feed-forward backpropagation* termasuk jenis pelatihan terbimbing dan didesain untuk operasi pada tipe jaringan *feed forward* multi lapis. Metoda BP ini banyak diaplikasikan secara luas. Sekitar 90% algoritma ini telah berhasil digunakan pada berbagai bidang seperti bidang finansial, pengenalan pola, sistem kendali, prediksi, dan banyak lagi, keberhasilan algoritma ini sebagai salah satu metode algoritma komputasi yang cukup handal. Algoritma bekerja didasarkan pada hubungan yang sederhana yaitu: jika keluaran (output) memberikan hasil yang salah, maka penimbang (*weight*) dikoreksi sehingga nilai galatnya dapat diperkecil dan respon jaringan selanjutnya diharapkan akan lebih mendekati hasil keluaran yang benar. Algoritma *back propagation* juga dapat memberikan perbaikan pada penimbang di daerah lapisan tersembunyi secara otomatis (Anderson, 1992).

Secara garis besar, mengapa algoritma ini disebut sebagai propagasi balik,

yaitu dideskripsikan sebagai berikut: ketika jaringan diberikan pola input masukkan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut akan menuju ke neuron atau unit-unit pada lapisan tersembunyi untuk dilanjutkan ke daerah neuron pada lapisan output. Kemudian unit-unit lapisan output memberikan respon yang disebut sebagai hasil keluaran simulasi jaringan. Saat hasil keluaran jaringan tidak sama dengan hasil keluaran yang diharapkan maka output tersebut akan menyebar kembali mundur pada lapisan tersembunyi dan diteruskan ke unit pada lapisan input, begitupula seterusnya hingga mendapatkan hasil output yang mendekati hasil output yang diharapkan serta memberikan nilai kesalahan yang kecil (Anderson, 1992)

2.5.2 Algoritma Levenberg Marquardt feed-forward Backpropagation

Levenberg Marquardt (LM) adalah fungsi pelatihan pada jaringan *supervised feed-forward* yang memberikan pelatihan sangat cepat dan efisien dalam memperbarui nilai bobot dan bias menurut optimasinya. Serta pelatihan dengan algoritma ini akan berhenti melakukan pelatihan jaringan apabila telah mendapatkan hasil yang optimum yaitu dengan nilai error kecil (Anderson, 1992).

Metode LM ini efisien digunakan untuk adaptasi pada bobot dan bias. Algoritma ini merupakan kombinasi dari aturan turunan gradien dan metode gauss newton. Algoritma LM menggunakan parameter untuk menentukan ukuran langkah, yang mengambil nilai besar pada iterasi pertama yaitu setara dengan algoritma *gradient descent*, dan nilai kecil ada tahap selanjutnya hal ini setara dengan metode *gauss newton*. Algoritma yang menggabungkan kemampuan kedua metode yaitu konvergensi dari keadaan awal seperti dalam kasus penurunan gradien dan konvergensi cepat didekat sekitar kesalahan minimum output (Rasheed, 2010).

Untuk lebih spesifik, pertimbangkan optimasi fungsi orde kedua $F(w)$, dan misalkan g adalah vektor gradiennya dan H adalah Hessiannya. Menurut metode Levenberg–Marquardt, penyesuaian optimal yang diterapkan pada vektor parameter w didefinisikan oleh:

$$\Delta w = [H + \lambda I]^{-1} g \quad (1)$$

di mana I adalah matriks identitas dengan dimensi yang sama dengan H dan λ merupakan parameter regularisasi, atau pemuatan, yang memaksa matriks jumlah $(H + \lambda I)$ menjadi positif dan terkondisikan dengan baik selama komputasi (Haykin, 2009).

Dengan latar belakang ini, pertimbangkan perceptron multilayer dengan satu neuron output. Jaringan dilatih dengan meminimalkan fungsi biaya.

$$E_{av}(w) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [d(i) - F(x(i); w)]^2 \quad (2)$$

di mana $\{x(i), d(i)\}$ adalah sampel pelatihan dan $F(x(i); w)$ adalah fungsi aproksimasi yang direalisasikan oleh jaringan; bobot sinaptik dari jaringan diatur dalam beberapa cara yang teratur untuk membentuk vektor bobot w (Haykin, 2009).

2.6 Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterikatan dengan penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut

Tabel 2.9 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul dan Hasil Penelitian
1.	Tanjung Dkk, 2016	Judul Penelitian : “Prediksi Kebutuhan Arus Proteksi Pada <i>Underground Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP) Dengan Menggunakan <i>Artificial Neural Network</i> ” Hasil Penelitian : Hasil prediksi kebutuhan arus proteksi pada sistem proteksi katodik arus paksa menggunakan <i>neural network</i> . Kapabilitas model dalam menghasilkan prediksi akurat untuk kebutuhan arus proteksi pada sistem proteksi katodik arus paksa, model terbaik menghasilkan kebutuhan arus proteksi dengan jumlah hidden neuron sebanyak 14,15, dan 16.
2.	Wang dkk, 2008	Judul Penelitian: “ <i>Predicting Compositions and Properties of Aluminum Die Casting Alloys Using Artificial Neural Network</i> ”

Hasil Penelitian: Dalam memprediksi komposisi dan sifat paduan aluminium die casting, ANN memberikan output yang memuaskan dengan kesalahan sangat kecil antara nilai input dan target untuk set data pelatihan dan memiliki akurasi yang tinggi dalam memprediksi sifat paduan dari komposisi kimia paduan. Keakuratan dan jangkauan ANN ini dapat ditingkatkan dengan memperbanyak database.

-
3. Roxas dan Lejano, 2019 Judul Penelitian: *“An Artificial Neural Network Model For The Corrosion Current Density Of Steel in Mortar Mixed With Sea Water”*

Hasil Penelitian: Kepadatan arus mikrosel dari baja dalam mortar yang dicampur dengan air laut merupakan nilai yang diperlukan untuk menghitung laju korosi baja. Hal ini merupakan salah satu penyebab utama kegagalan pada struktur. model terbaik dengan nilai koefisien korelasi 0.96536, 0.80817, dan 0.7662 untuk pelatihan, validasi dan pengujian fase dengan masing-masing dalam kisaran 5 hingga 17 neuron hidden layer.

-
4. Kocaefe dkk, 2014 Judul Penelitian: *“Utilization Of Artificial Neural Network to Analyze And Predict The Influence of Different Parameters on Anode Properties”*

Hasil Penelitian: Akurasi model ANN bergantung pada data yang digunakan untuk melatih dan memvalidasi model. sifat kimia

dan fisik dari *raw material* digunakan untuk memprediksi sifat anoda atau kokas untuk menggambarkan potensi model. Prediksi JST menjelaskan hasil berbeda dari laporan data yang ada berupa perubahan kualitas kokas dapat mempengaruhi kepadatan densitas, yang mempengaruhi kepadatan anoda. Penerapan lainnya menunjukkan efek ketidakmurnian pada reaktivitas CO₂ anoda dalam kaitannya dengan efek kerapatan anoda dan kandungan sulfur.

5. Kamrunnahr dan MacDonald, 2009

Judul Penelitian: *“Prediction of Corrosion Behavior Using Neural Network as a Data Mining Tool.”*

Hasil Penelitian: dengan menggunakan metode *feed-forward backpropagation* yang dikembangkan untuk paduan logam sehingga model NN dapat mempelajari fungsi yang mendasari dalam memetakan variabel dan parameter korosi ke metrik korosi yang berbeda (laju korosi, potensi korosi, potensi repasivasi celah). Data korosi yang digunakan paduan Fe, karbon dan baja paduan. Validasi model NN yang dikembangkan menggunakan data karbon dan baja paduan dari NIST menunjukkan kesesuaian yang sangat baik antara laju korosi eksperimental dan prediksi NN.
