

LOKASI PENGESAN DAN SUDUT PENGHADANG OPTIMUM UNTUK  
TOMOGRAFI KEMUATAN ELEKTRIK BAGI PENGANGGARAN  
KETINGGIAN MINYAK

Oleh

Ahmad Kamal Bin Ibrahim

Disertasi ini dikemukakan kepada  
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan  
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

Pusat Pengajian Kejuruteraan  
Elektrik dan Elektronik  
Universiti Sains Malaysia

Mei 2006

## ABSTRAK

Tomografi kekuatan elektrik (TKE) merupakan salah satu daripada tomografi proses yang diaplikasikan dalam sektor pengimejan. Sistem TKE ini merupakan kaedah pengukuran bagi mencari nilai bacaan untuk beza kekuatan terhadap setiap penggunaan elektrod. Manakala sistem rangkaian neural buatan RNB pula merupakan sebuah model elektronik yang direka khas berasaskan daripada struktur rangkaian otak manusia untuk proses penghasilan maklumat dengan menggunakan algoritma pembelajaran yang tertentu. TKE adalah proses yang menggunakan kapasitor bagi tujuan menentukan sesuatu nilai tertentu. Secara asasnya terdapat dua jenis sistem tomografi yang digunakan pada masa kini, iaitu tomografi bagi tujuan perubatan dan tomografi proses. Dalam kajian ini, kepentingan utama adalah untuk mendapatkan nilai jejari dari titik pusat ke elektrod, iaitu parameter  $R_2$  dan sudut bagi satu elektrod penghadang, iaitu parameter  $\beta^\circ$  yang paling optimum. Proses ini adalah untuk mendapatkan bacaan yang paling kecil bagi nilai purata ralat ketinggian minyak di dalam sesuatu saluran atau paip. Pengaturcaraan Matlab 7 digunakan untuk proses menjanakan data TKE menggunakan pensimulasi TKE.

# OPTIMUM SENSOR LOCATION AND GUARD ANGULAR SIZES OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY SENSOR FOR OIL-HEIGHT DETERMINATION

## ABSTRACT

Electric capacitance tomography (ECT) is one of the branches of process tomography that applied in imaging sector. ECT is one of the techniques to measure the internal spatial of materials. Artificial Neural Network (ANN) is an electronic model that designed from human brain to process information that use learning algorithm. ECT is a process that uses capacitance for determine of certain values. There are two types of tomography systems; one is medical tomography and process tomography. The importance of this research is to determine the pipe thickness,  $R_2$  and the of electrode guard angle,  $\beta^\circ$ . This process done is to get the optimum parameter which is the lowest mean of absolute error. Matlab is used to generate raw ECT dataset with using an ECT simulator.

## PENGHARGAAN

Assalamualaikum w.b.t.

Alhamdulillah, setinggi syukur kehadiran Ilahi kerana dengan limpah dan kurniaNya dapat saya dengan baiknya menyiapkan projek akhir tahun ini.

Dalam menyiapkan projek ini, saya mendapat banyak pertolongan dan dorongan dari pensyarah-pensyarah serta rakan-rakan. Ribuan terima kasih yang tak terhingga kepada penyelia projek ini iaitu Encik Aeizal Azman Bin Abd Wahab serta penyelia kedua Dr Junita Binti Mohamad Saleh. Mereka berdua telah banyak memberi tunjuk ajar serta pertolongan dalam menyiapkan projek ini. Dengan tunjuk ajar mereka dapat saya menyelesaikan segala kesulitan yang timbul dalam menjalankan projek ini.

Terima kasih juga ditujukan kepada rakan-rakan yang banyak memberi tunjuk ajar serta bantuan dalam menyelesaikan segala masalah yang dihadapi. Kepada keluarga tersayang yang turut memberi sokongan dan semangat supaya saya berusaha lebih gigih dan bersungguh-sungguh.

Akhir kata, kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak dalam menyelesaikan projek tahun akhir saya ini, diucapkan setinggi-tinggi terima kasih yang tak terhingga kerana projek ini dapat disiapkan dengan jayanya.

Terima kasih.

## KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGHARGAAN	iv
JADUAL ISI KANDUNGAN	v
SENARAI GAMBARAJAH	viii
SENARAI JADUAL	x
<b>BAB 1 PENGENALAN</b>	
1.0 Ringkasan .....	1
1.1 Pendahuluan .....	1
1.2 Tujuan Projek .....	2
1.3 Panduan Tesis .....	2
<b>BAB 2 KAJIAN ILMIAH</b>	
2.0 Pendahuluan .....	3
2.1 Tomografi .....	3
2.1.1 Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) .....	4
2.1.2 Pengukuran Kemuatan Sistem TKE .....	6
2.1.3 Penormalan Data TKE .....	7
2.2 Rangkaian Neural Buatan .....	8
2.2.1 Anologi Neural Biologi dengan Neural Buatan .....	9
2.2.2 Struktur RNB .....	11
2.2.3 Senibina RNB .....	15
2.2.4 Rangkaian MLP .....	16

	2.2.4.1 Fungsi Pindah atau Fungsi Pengaktifan .....	18
	2.2.4.2 Asas Proses Pembelajaran MLP .....	18
	2.2.4.3 Algoritma Pembelajaran MLP .....	19
	2.2.4.4 Algoritma Bayesian Regularization .....	20
2.3	Matlab .....	21
<b>BAB 3</b>	<b>KAEDAH IMPLEMENTASI</b>	
3.1	Penerangan Keseluruhan Kerja .....	22
3.2	Jenis Regim Aliran Yang Dipilih .....	27
3.3	Rekabentuk Pengesan TKE Yang Digunakan .....	27
	3.3.1 Pembentukan Corak .....	30
3.4	Struktur Fail dan Penyediaan Data .....	31
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN</b>	
4.0	Pendahuluan .....	33
4.1	Proses Pernormalan Menggunakan RNB .....	33
4.2	Jadual Purata Ralat Ketinggian Untuk Parameter R2 dan $\beta^o$ ...	34
4.3	Proses Memplotkan Graf .....	36
	4.3.1 Graf Purata Ralat Ketinggian Melawan Parameter R2 ...	36
	4.3.2 Graf Purata Ralat Ketinggian Melawan Parameter $\beta^o$ ....	38
4.4	Graf Purata Ralat Ketinggian Mengikut Regim Aliran .....	39
	4.4.1 Graf Purata Ralat Ketinggian Melawan Parameter R2 Mengikut Regim Aliran .....	39
	4.4.2 Graf Purata Ralat Ketinggian Melawan Parameter $\beta^o$ Mengikut Regim Aliran .....	42

BAB 5	KESIMPULAN	
5.0	Pendahuluan .....	46
5.1	Perbincangan .....	46
5.2	Kesimpulan .....	47
5.3	Cadangan .....	48

RUJUKAN

LAMPIRAN

## SENARAI GAMBARAJAH

Muka Surat

### BAB 2 KAJIAN ILMIAH

<b>Rajah 2.1</b> : Sistem Asas Tomografi Kemuatan Elektrik.....	4
<b>Rajah 2.2</b> : Keratan Rentas Pengesan Kemuatan 12-elektrod.....	5
<b>Rajah 2.3</b> : Cara Pengukuran Kemuatan.....	7
<b>Rajah 2.4</b> : Komponen neuron biologi.....	9
<b>Rajah 2.5</b> : Komponen asas RNB.....	10
<b>Rajah 2.6</b> : Komponen bagi model asas neuron buatan.....	11
<b>Rajah 2.7</b> : Jenis-jenis fungsi pindah.....	14
<b>Rajah 2.8</b> : Rangkaian suap-hadapan lapisan tunggal.....	15
<b>Rajah 2.9</b> : Struktur MLP dengan satu neuron tersembunyi.....	16
<b>Rajah 2.10</b> : Asas satu unsur neuron.....	17

### BAB 3 KAEDAH IMPLEMENTASI

<b>Rajah 3.1</b> : Carta alir penentuan koordinat bagi regim aliran.....	24
<b>Rajah 3.2</b> : Carta alir proses mendapatkan geometri regim aliran dan proses penormalan.....	25
<b>Rajah 3.3</b> : Carta alir proses penormalan melalui Matlab dan proses Perbandingan ralat.....	26
<b>Rajah 3.4</b> : Jenis-jenis rejim aliran.....	27
<b>Rajah 3.5</b> : Skematik sistem pengesan TKE terhadap paip.....	28
<b>Rajah 3.6</b> : Struktur bagi fail yang telah menggabungkan kesemua data.....	31

### BAB 4 KEPUTUSAN

<b>Rajah 4.1</b> : Paparan bagi proses penormalan menggunakan RNB.....	34
<b>Rajah 4.2</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R2$ .....	37
<b>Rajah 4.3</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ .....	38
<b>Rajah 4.4</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R2$ untuk regim aliran homogen kosong.....	39



<b>Rajah 4.5</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R_2$ untuk regim aliran homogen penuh.....	40
<b>Rajah 4.6</b> : graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R_2$ untuk regim aliran anulus.....	40
<b>Rajah 4.7</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R_2$ untuk regim aliran gelembung.....	41
<b>Rajah 4.8</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $R_2$ untuk regim aliran strata.....	42
<b>Rajah 4.9</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ bagi regim aliran homogen kosong.....	43
<b>Rajah 4.10</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ bagi regim aliran homogen kosong.....	43
<b>Rajah 4.11</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ bagi regim aliran anulus.....	44
<b>Rajah 4.12</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ bagi regim aliran gelembung.....	45
<b>Rajah 4.13</b> : Graf purata ralat ketinggian melawan parameter $\beta^0$ bagi regim aliran strata.....	45

## SENARAI JADUAL

Muka Surat

### BAB 2 KAJIAN ILMIAH

<b>Jadual 2.1:</b> Nama-nama penyelidik dan sumbangannya dalam bidang RNB (Mashor,1994).....	8
<b>Jadual 2.2 :</b> Jenis-jenis arahan dan fungsi Matlab.....	21

### BAB 3 KAEDAH IMPLEMENTASI

<b>Jadual 3.1 :</b> Data yang terhasil bagi setiap corak geometri.....	32
--	----

### BAB 4 KEPUTUSAN

<b>Jadual 4.1 :</b> Nilai purata ralat ketinggian untuk perubahan nilai parameter R2.....	35
<b>Jadual 4.2 :</b> Nilai purata ralat ketinggian untuk perubahan nilai parameter $\beta^{\circ}$ .....	36

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.0 Ringkasan**

Bab pengenalan menerangkan secara ringkas tentang projek yang telah dijalankan iaitu bertajuk “Lokasi Pengesan dan Sudut Penghadang Optimum Untuk tomografi Kemuatan Elektrik Bagi penganggaran Ketinggian Minyak” yang menggunakan *Artificial Neural Network System* atau sistem Rangkaian Neural Buatan (RNB). Di samping itu, penjelasan mengenai penggunaan *Electrical Capacitance Tomography System* atau sistem tomografi kemuatan elektrik (TKE) untuk penjanaan data bagi setiap corak aliran turut diterangkan. Objektif kajian dan panduan laporan juga diterangkan bagi memperjelaskan lagi tentang perjalanan projek ini dari awal sehingga kesimpulan dihasilkan.

### **1.1 Pendahuluan**

Sistem TKE ini adalah satu kaedah pengukuran bagi mencari nilai bacaan untuk beza kemuatan terhadap setiap penggunaan 12 elektrod. Bagi sistem RNB pula, ia merupakan sebuah model elektronik yang direka khas berasaskan struktur rangkaian otak manusia untuk proses penghasilan maklumat dengan menggunakan algoritma pembelajaran yang tertentu. Kedua-dua sistem ini telah digunakan untuk penganggaran parameter bagi aliran gas-cecair seperti pecahan minyak, ketinggian minyak dan sebagainya (Mohamad Saleh dan Hoyle, 2002).

Dalam industri minyak, pengelasan regim sangat penting bagi tujuan pengawalan proses dan pembaikan perkakasan TKE. Secara asasnya terdapat dua jenis sistem tomografi yang digunakan pada masa kini, iaitu tomografi bagi tujuan perubatan dan tomografi proses. TKE merupakan salah satu dari tomografi proses yang diaplikasikan dalam industri pengimejan. TKE adalah adalah proses yang menggunakan komponen elektromagnet iaitu kapasitor bagi penentuan nilai parameter. Ia adalah teknik untuk menentukan informasi mengenai kandungan dalam paip yang tertutup dengan pengukuran tertentu.

## **1.2 Tujuan Projek**

Projek ini bertujuan untuk menentukan parameter pengesan yang optimum yang digunakan untuk menentukan tinggi minyak yang terdapat dalam sesebuah paip atau saluran bagi dua jenis komponen aliran yang berlainan iaitu gas dan minyak menggunakan sistem RNB. Objektif yang ingin dicapai dalam projek ini adalah :

- i) Mengetahui nilai parameter yang lebih sesuai untuk mendapatkan nilai ketinggian minyak bagi RNB yang telah dilatih
- ii) Mendapatkan ketinggian minyak pada regim aliran yang berbeza
- iii) Memahami teori dan aplikasi RNB dalam industri
- iv) Memahami dengan lebih mendalam tentang penggunaan TKE
- v) Memahami dan menguasai penggunaan perisian Matlab.

## **1.3 Panduan Tesis**

Secara keseluruhannya, laporan ini mengandungi lima bahagian iaitu bab pengenalan, kajian ilmiah, kaedah implementasi, keputusan dan kesimpulan. Bab pengenalan ini menerangkan dengan ringkas tentang ringkasan bab, pendahuluan, objektif kajian dan juga panduan tesis.

Kajian ilmiah ini menerangkan tentang asas-asas serta teori yang berkaitan dengan sistem tomografi kekuatan elektrik (TKE) dan rangkaian neural buatan (RNB). Selain itu, maklumat tentang penggunaan perisian MATLAB juga akan dijelaskan.

Kaedah implementasi pula penerangan secara terperinci tentang keseluruhan perjalanan projek melibatkan pengkelasan setiap jenis aliran yang terbentuk di dalam sebuah paip atau saluran, rekabentuk pengesan TKE dan RNB, proses algoritma pembelajaran dan lain-lain akan diterangkan.

Hasil keputusan yang diperolehi akan dimasukkan pada bab keputusan. Perbincangan mengenai keputusan juga akan dihuraikan. Seterusnya pada bab yang terakhir iaitu kesimpulan, segala aspek kelemahan dan kebaikan mengenai projek ini akan dihuraikan serta beberapa alternatif juga turut dihuraikan supaya projek ini dapat diperbaiki dari semasa ke semasa.

## **BAB 2**

### **KAJIAN ILMIAH**

#### **2.0 Pendahuluan**

Bab pendahuluan ini akan menerangkan tentang sistem-sistem yang akan digunakan dalam menjalankan projek ini. Sistem yang akan dibincangkan adalah sistem tomografi kekuatan elektrik (TKE) dan rangkaian neural buatan (RNB). Dalam sistem tomografi kekuatan elektrik ini, ianya diterangkan secara terperinci mengenai asas-asas tomografi, sistem TKE dan juga pengukuran kekuatan TKE. Bagi sistem rangkaian neural buatan, ianya dimulakan dengan sejarah awal RNB, analogi bagi RNB, senibina dan struktur model RNB serta jenis-jenis algoritma pembelajaran bagi proses latihan, pengesahan dan pengujian bagi sesebuah RNB. Penerangan tentang penggunaan terhadap perisian Matlab juga akan diterangkan.

#### **2.1 Tomografi**

Antara jenis-jenis proses tomografi yang sering digunakan pada masa kini adalah Tomografi Kekuatan Elektrik (TKE), Tomografi Impedans Elektrik (TIE) dan Tomografi Elektromagnetik (TEM). Ia telah digunakan untuk menentukan kebocoran minyak pada tangki bawah tanah, ketumpatan minyak didalam paip, kelajuan minyak dan sebagainya.

Kaedah tomografi ini telah diperkenalkan serta digunakan secara meluas melalui bidang perubatan dan dikenali sebagai Tomografi Perubatan (Medical Tomography). Salah satu contoh penggunaannya adalah alat pengimbas badan (body scanner) yang berupaya untuk mengimbas organ-organ di dalam badan manusia. Selain itu, kaedah Tomografi Pancaran Positron (PTE) juga telah diperkenalkan bagi mengesan kepekatan dalam badan serta memaparkan imej di komputer (Sensatech, 2001). Bagi kaedah ini, sejumlah kecil dos bahan radioaktif diperlukan untuk mencampurkannya ke dalam aliran darah. Penggunaan tentang kaedah ini telah dipastikan bahawa tidak membawa sebarang kesan buruk terhadap pengguna kerana bahan tersebut bersifat tidak mengganggu (non-invasive) (York dan Yang, 2003).

Penggunaan terhadap teknik tomografi ini juga turut digunakan dalam bidang perindustrian. Ianya dikenali sebagai Proses Tomografi (*Process Tomography*).

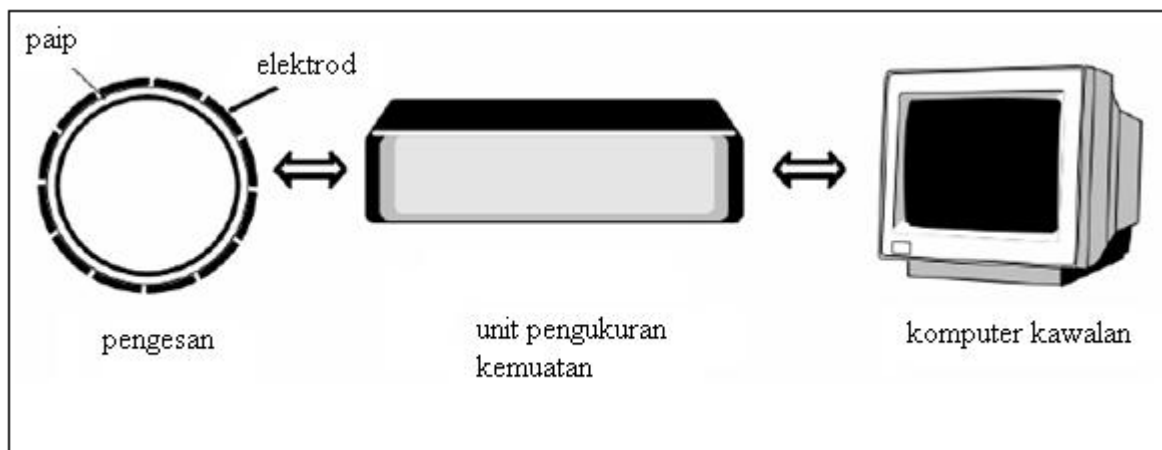
Proses ini merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan ciri-ciri dalaman sesuatu sistem yang tertutup seperti paip atau saluran.

Alat-alat pengesan diletakkan di sekeliling permukaan luaran sistem yang tertutup itu (York dan Yang, 2003). Berdasarkan teknik ini, maklumat mengenai taburan bahan pada kawasan pengesanan akan diperolehi serta dapat digunakan untuk pembinaan semula imej taburan bahan.

Pengukuran tomografi dapat memberikan nilai pengukuran yang kompleks dan terperinci. Teknik ini telah banyak digunakan dalam bidang industri kerana ia lebih terperinci dan penyelesaian yang lebih kompleks bagi masalah yang wujud dalam bidang tersebut. Ia dapat memenuhi piawaian seperti keselamatan, perlindungan, penggunaan tenaga, kualiti jaminan dan kepelbagaian produk meningkat dengan begitu jelas.

### 2.1.1 Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE)

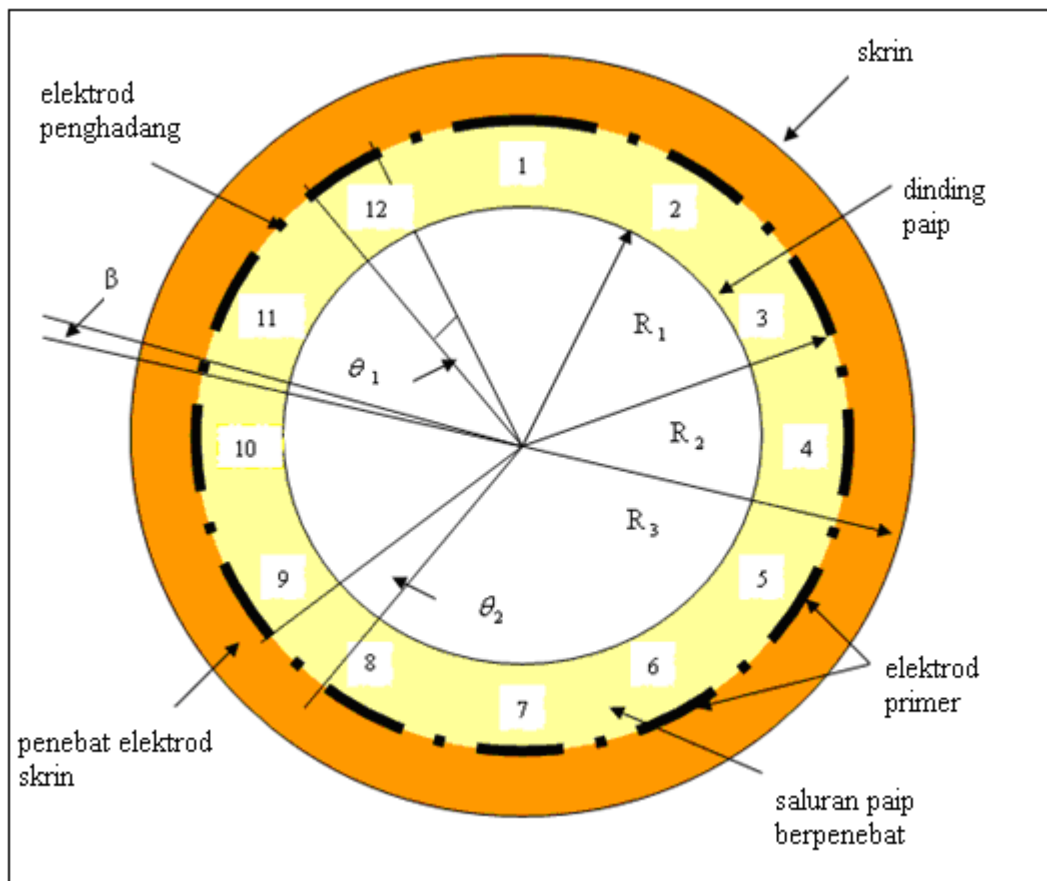
Sistem asas TKE akan mengandungi pengesan elektrod kemuatan, unit pengukuran kemuatan dan komputer pengawal seperti Rajah 2.1 dibawah.



**Rajah 2.1** : Sistem Asas Tomografi Kemuatan Elektrik

TKE merupakan teknik yang diperkenalkan sekitar lewat tahun 1980an. Ia digunakan bagi memperoleh imej dan keluaran bagi proses-proses yang melibatkan pelbagai komponen. Sebagai contoh, komponen minyak dan gas atau komponen air dan minyak di dalam sistem saluran atau paip. Kos penghasilan yang murah dan mempunyai tahap keselamatan yang tinggi serta mudah dikendalikan merupakan satu kelebihan penggunaan TKE.

Bagi menjalankan projek ini, sebuah pengesan kemuatan TKE 12-elektrod digunakan. Elektrod yang berada pada sekeliling paip ini akan menjalankan fungsi utama. Ia akan mengesan objek dan ciri-ciri minyak dalam paip. Data yang diperolehi ini akan dihantar untuk diproses. Data yang diukur akan dihantar ke komputer untuk memaparkan imej dan ia akan menentukan ketinggian minyak dalam paip tersebut. Rajah 2.2 dibawah menunjukkan keratan rentas bagi pengesan kemuatan 12-elektrod.



**Rajah 2.2** : Keratan Rentas Pengesan Kemuatan 12-elektrod

Sistem TKE ini mengukur perubahan bagi setiap kapasitan yang terhasil disebabkan oleh variasi kepekatan sesuatu bahan dalam saluran, dan membaiki semula imej daripada data yang telah diukur (Yang et.al, 1995).

### 2.1.2 Pengukuran Kemuatan Sistem TKE

Sistem TKE ini diwakili oleh pengesan kapasitan, litar pengukur dan kawalan komputer. Sistem TKE ini mengukur perubahan yang berlaku sekitar kapasitan apabila variasi kepekatan bahan di dalam paip atau saluran dan pembangunan semula imej keratan rentas (taburan kepekatan) dikesan menerusi data yang telah disukat (Yan et.al, 2001).

Proses pengukuran dimulakan dengan elektrod 1 yang akan dibekalkan dengan nilai voltan positif. Ia adalah elektrod sumber. Pengukuran dimulakan antara elektrod 1 dan elektrod 2, seterusnya antara elektrod 1 dan elektrod 3. Proses ini dilakukan sehingga pengukuran antara elektrod 1 dan elektrod 12. Ia adalah kitar pertama, kitar kedua bermula selepas itu dengan elektrod dua pula menjadi elektrod sumber. Elektrod 3 dan seterusnya menjadi elektrod pengesan, tetapi elektrod 1 menjadi pengawal, ( Xie et al. 1992 ) Proses akan berlaku sehingga elektrod 12 menjadi rujukan dan elektrod 1 hingga 11 menjadi pengawal.

Proses ini akan menghasilkan data sebanyak 66 bacaan. Ia berdasarkan persamaan (2.1) dibawah :

$$D = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.1)$$

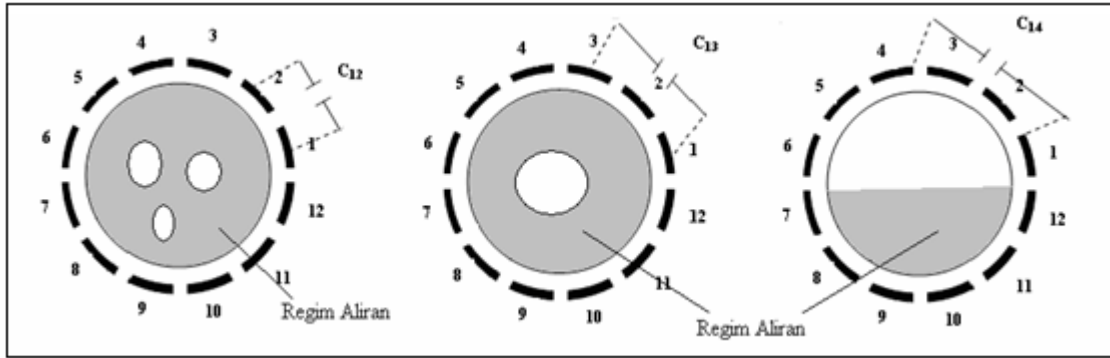
Dimana,

$D$  = bilangan data yang akan terhasilkan

$n$  = bilangan elektrod yang digunakan.

Rajah 2.3 menunjukkan rajah skematik kitaran pengukuran kemuatan bagi pengesan kemuatan 12-elektrod.





**Rajah 2.3 : Cara Pengukuran Kemuatan**

### 2.1.3 Penormalan Data TKE

Sebelum memasuki proses RNB, data yang diperoleh perlu melalui proses penormalan. Proses ini bertujuan untuk memudahkan RNB melakukan proses seterusnya keatas data yang bertabur dalam julat yang rendah.

Apabila pencampuran dua jenis bahan bukan elektrik untuk diimejkan, sistem TKE biasanya diseliakan dengan mengukur dua set bahan rujukan kapasitan elektrod dalaman iaitu CL dan CH. Apabila campuran bagi 2 jenis bahan berdielektrik diimejkan, sistem TKE biasanya ditentu-ukurkan dengan mengukur 2 set rujukan bagi elektrod kapasitan dalaman iaitu CL dan CH dengan pengesan disetkan kepada bahan yang ketumpatan tinggi dan rendah. Semua nilai kapasitan yang berikutnya iaitu CM akan dinormalkan bagi memberi nilai CN antara 0 (ketumpatan rendah) dengan 1 (ketumpatan tinggi) berdasarkan kepada formula yang diberikan (Byars M, 1995) ditunjukkan oleh persamaan (2.2) di bawah :

$$\lambda_{i,j} = (C_{i,j} - C_{i,j(kosong)}) / (C_{i,j(penuh)} - C_{i,j(kosong)}) \quad (2.2)$$

di mana,

$\lambda_{i,j}$  = nilai yang dinormalkan

$C_{i,j}$  = data TKE yang hendak dinormalkan

$C_{i,j(kosong)}$  = data TKE untuk paip kosong

$C_{i,j(penuh)}$  = data TKE untuk paip penuh

## 2.2 Rangkaian Neural Buatan

Rangkaian Neural Buatan (RNB) adalah merupakan sebuah model elektronik yang direka khas berasaskan daripada struktur rangkaian otak manusia untuk proses penghasilan maklumat. Ia adalah satu penemuan yang baru dalam bidang komputer.

Rangkaian neural buatan mula diperkenalkan pada awal tahun 1940-an oleh McCulloch dan Pitts yang memperkenalkan model matematik RNB yang pertama. Pada sekitar tahun 1950-an pula, Rossenblatt mencipta dua lapisan rangkaian iaitu *Perceptron* yang berupaya melaksanakan pembelajaran dengan mengubah pemberat.

Secara umumnya, RNB boleh dianggap seperti kotak hitam yang mana menerima set data masukan dan menghasilkan keluaran (Simpson, 1992). Rangkaian ini akan mempelajari set data yang diberikan sehingga memberi hasil keluaran yang hampir sama dengan nilai sebenar melalui beberapa proses pengulangan. Jadual 2.1 menunjukkan ringkasan bagi sejarah perkembangan RNB.

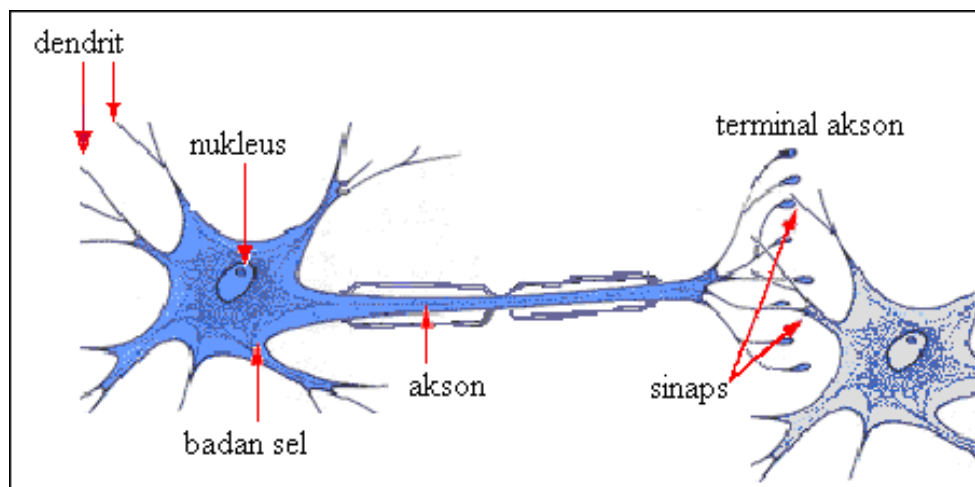
**Jadual 2.1:** Nama-nama penyelidik dan sumbangannya dalam bidang RNB (Mashor, 1994)

Nama Penyelidik	Sumbangan	Tahun
McCulloch dan Pitts	Memperkenalkan model RNB	1949
D. Hebb	Mengemukakan hukum pembelajaran pertama RNB dipanggil Hukum <i>Hebb</i>	1949
F. Rossenblatt	Mencipta RNB yang dipanggil <i>Perceptron</i>	1958
B. Widrow dan M.E Hoff	Mencipta RNB yang dipanggil <i>Adaline</i>	1960
J.J Hopfield	Mencipta RNB yang dipanggil <i>Hopfield</i>	1982
K. Fukushima	Mencipta RNB yang dipanggil <i>Neocognitron</i>	1983
T. Kohonen	Mencipta RNB yang dipanggil <i>Kohonen</i>	1984
D.E Remulhart dan J.L McClelland	Memperkenalkan semula dan mengembangkan algoritma perambatan balik	1986

Pada masa hadapan RNB berupaya menjadi medan perantaraan dengan semua bidang teknologi dan juga kedudukannya dalam pembangunan perkakasan. Kini, kebanyakan pembangunan rangkaian neural ini mudah dibuktikan berdasar kepada konsep kerjanya. Rangkaian neural buatan mudah untuk menyesuaikan diri dengan keadaan data yang dibekalkan. Ia juga akan membentuk kumpulan sendiri semasa proses melatih RNB dijalankan. RNB boleh dipindahkan secara selari atau menggunakan peralatan yang dikhaskan untuk RNB.

### 2.2.1 Anologi Neural Biologi dengan Neural Buatan

Pada masa ini, terdapat beberapa aspek dapat diterokai terhadap otak manusia. Khususnya, unsur asas yang terpenting berhubung dengan otak manusia iaitu sejenis sel yang mana membezakan dengan anggota yang lain serta ianya tidak boleh tumbuh semula. Sel ini mempunyai keupayaan untuk mengingat, berfikir dan mengaplikasikan sebarang maklumat yang diperolehi bagi setiap tindakan. Dianggarkan terdapat 100 bilion neuron di dalam otak manusia (Bishop, 1994). Rajah 2.4 di bawah menunjukkan komponen-komponen bagi neuron biologi. Antara komponen-komponen tersebut adalah cabang dendrit, akson, sinaps dan badan sel.

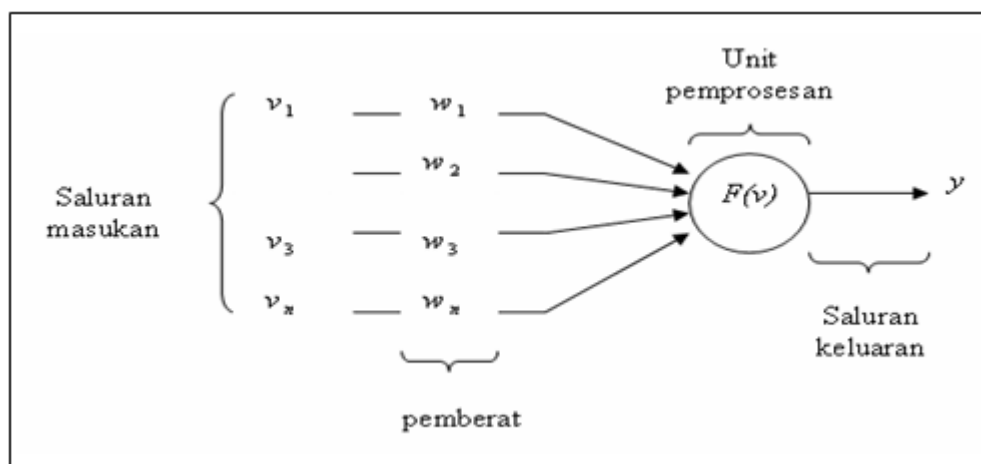


**Rajah 2.4** : Komponen neuron biologi

Di dalam struktur neuron manusia terdapat beberapa bahagian yang dikenalpasti nama serta fungsinya. Cabang dendrit bertindak sebagai impuls masukan kepada neuron-neuron yang lain manakala akson pula berfungsi sebagai keluarannya. Titik perhubungan antara akson dan dendrit berlaku pada setiap simpang sinaps di mana ianya merupakan saluran atau komunikasi antara neuron-neuron di dalamnya.

Neuron bertindak dengan menghantar impuls elektrik yang didenyutkan oleh sel badan melalui laluan akson. Apabila impuls sampai di sinaps, berlaku perembesan kimia dan seterusnya menyeberangi simpang sinaps untuk pergi kepada neuron-neuron yang lain (Bishop, 1994). Ciri utama dalam rangkaian ini adalah kekuatan sinaps di antara neuron-neuron. Setiap sinaps mempunyai kekuatannya yang tersendiri yang mana akan memberikan kesan terhadap magnitud impuls yang terhasil.

Rajah 2.5 menunjukkan komponen asas bagi RNB. Fungsi saluran masukan RNB menyamai fungsi dendrit dalam neural biologi, fungsi aksonnya menyamai fungsi saluran keluaran, fungsi sinaps pula hampir serupa dengan fungsi pemberat dan fungsi badan sel adalah menyerupai dengan unit pemprosesan bagi RNB (Mashor, 1997). Pemberat yang bersifat sinaps akan menentukan kekuatan sesuatu masukan dan seterusnya mempengaruhi komponen unit pemprosesan iaitu dikenali sebagai neuron.

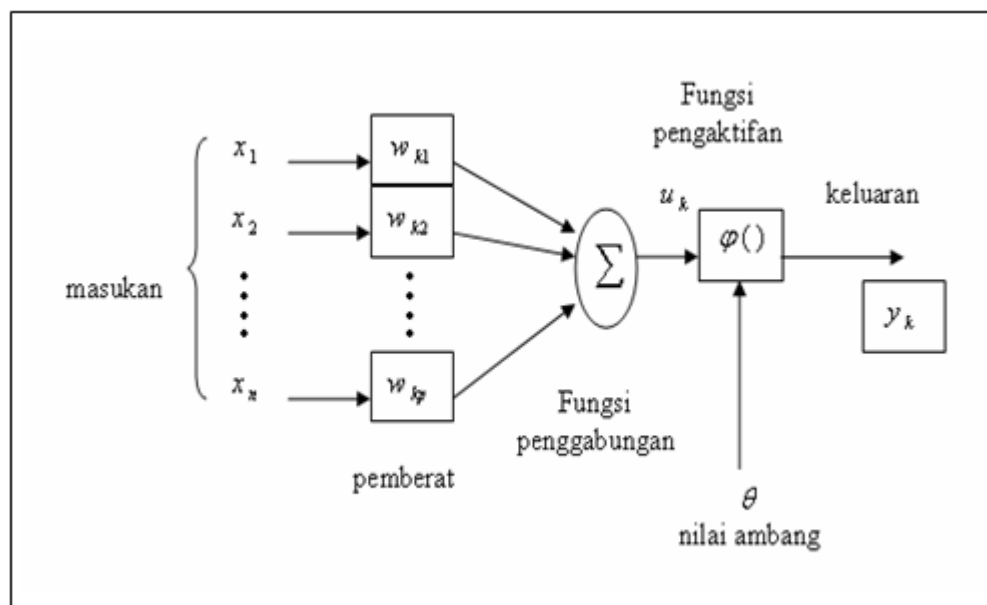


**Rajah 2.5** : Komponen asas RNB

RNB direkabentuk supaya mempunyai ciri-ciri yang dinamik di mana sifat-sifat data latihan akan tersimpan di antara pemberat sambungan. Seterusnya pembera-pemberat ini akan dilaras dan diubah bergantung kepada teknik pembelajaran yang tertentu semasa proses pembelajaran dilaksanakan. Unit pemprosesan (*neuron*) akan melakukan tugas pemprosesan yang sama sepanjang pembelajaran. Pada unit pemprosesan ini terdapat fungsi pengaktifan yang akan mengolah data. Sesebuah RNB yang berprestasi baik perlu mengambil kira tiga aspek utama iaitu fungsi pengaktifan, senibina yang digunakan dan pemberat.

### 2.2.2 Struktur RNB

Neuron merupakan unit asas bagi sebuah rangkaian. Unit ini dapat melakukan pemprosesan ringkas untuk suatu data masukan dan menghasilkan keluaran. Rajah 2.6 menunjukkan komponen neuron yang terdiri daripada komponen masukan, pemberat, sinaps, fungsi pengaktifan, penggunaan ambang (*threshold*) dan keluaran (Haykin, 1994).



**Rajah 2.6** : Komponen bagi model asas neuron buatan

(a) Masukan

Fungsi komponen ini adalah menghantar data masukan kepada setiap neuron. Isyarat atau data dari sistem lain dihantar ke setiap neuron.

(b) Pemberat

Pemberat berfungsi untuk penyimpanan maklumat dan mempengaruhi keberkesanan sesuatu rangkaian neural. Ianya terletak pada setiap penyambungan neuron. Pemberat akan mengubah kekuatan sesuatu maklumat bagi setiap isyarat masukan yang diterima sebelum dihantar kepada neuron-neuron di lapisan yang lain.

(c) Fungsi penggabungan

Ia merupakan gabungan di antara setiap isyarat masukan yang melalui neuron dengan nilai pemberat pengiraannya dihitung dengan menjumlahkan kesemua hasil pendaraban nilai masukan dengan pemberat masing-masing (Haykin, 1994). Ini ditunjukkan oleh persamaan (2.3)

$$u_k = \sum_{j=1}^p w_{kj} x_j \quad (2.3)$$

di mana,

$u_k$  = jumlah penambahan masukan dengan pemberat bagi neuron k

$w_{kj}$  = nilai pemberat merujuk kepada sambungan neuron k dan j

$x_j$  = masukan neuron j

$p$  = bilangan masukan kepada neuron j

- (d) Fungsi pindah atau fungsi pengaktifan  
Digunakan pada neuron tersembunyi dan neuron keluaran untuk menentukan keluaran melalui pemetaan jumlah masukan pemberat dan ambang (Demuth dan Beale, 2000). Terdapat banyak fungsi pindah yang boleh digunakan antaranya seperti *hard-limit*, *symmetric hard-limit*, *linear*, *tansig*, *logsig* dan pelbagai lagi. Rajah 2.7 menunjukkan beberapa contoh fungsi pindah yang biasa digunakan.
- (e) Nilai ambang (*threshold value*,  $\theta$ )  
Kegunaannya akan merendahkan masukan pada fungsi pindah bagi model asas neuron ini.
- (f) Keluaran  
Hasil yang akan diperolehi berdasarkan kepada fungsi pindahnya. Keluaran  $y_k$  dihasilkan mengikut persamaan (2.4)

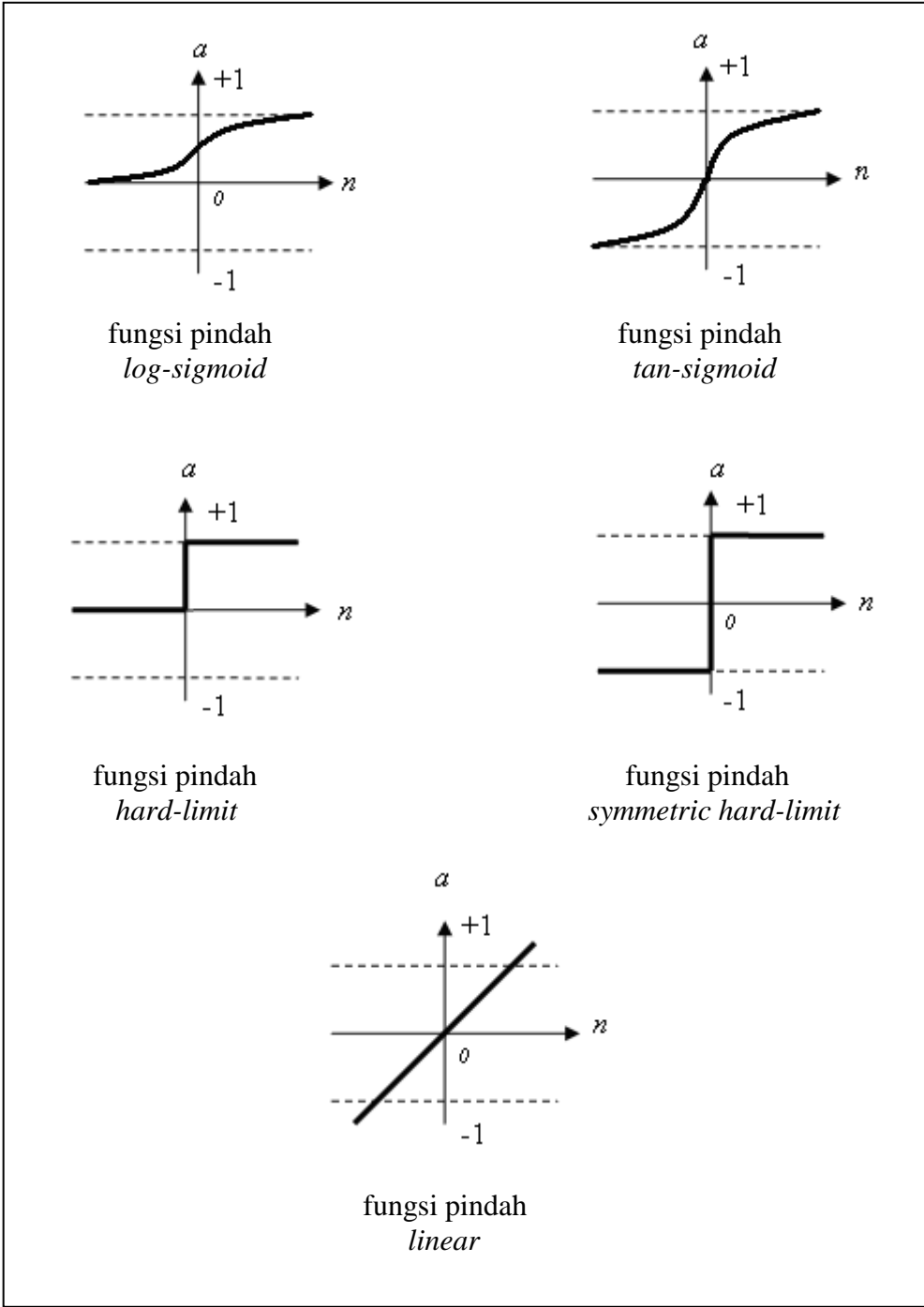
$$y_k = \varphi(u_k - \theta_k) \quad (2.4)$$

di mana,

$y_k$  = keluaran k

$u_k$  = jumlah penambahan masukan dengan pemberat bagi neuron k

$\theta_k$  = nilai ambang



**Rajah 2.7** : Jenis-jenis fungsi pindah

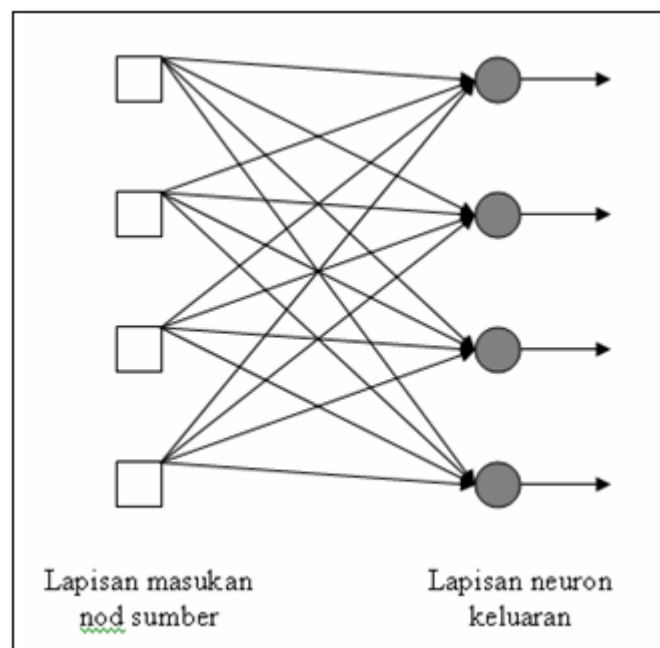


### 2.2.3 Senibina RNB

RNB terbahagi kepada tiga bahagian iaitu rangkaian suap-hadapan (feedforward), rangkaian suap-balik(feedback) dan lapisan rangkaian.

#### a) Rangkaian suap-hadapan :

Rangkaian suap-hadapan berlaku apabila neuron-neoran dari lapisan lain mengalir isyarat ke lapisan neuron yang seterusnya dalam satu arah sahaja. Rajah 2.8 di bawah menunjukkan senibina bagi rangkaian suap-hadapan.



**Rajah 2.8** : Rangkaian suap-hadapan lapisan tunggal.

#### b) Rangkaian suap-balik :

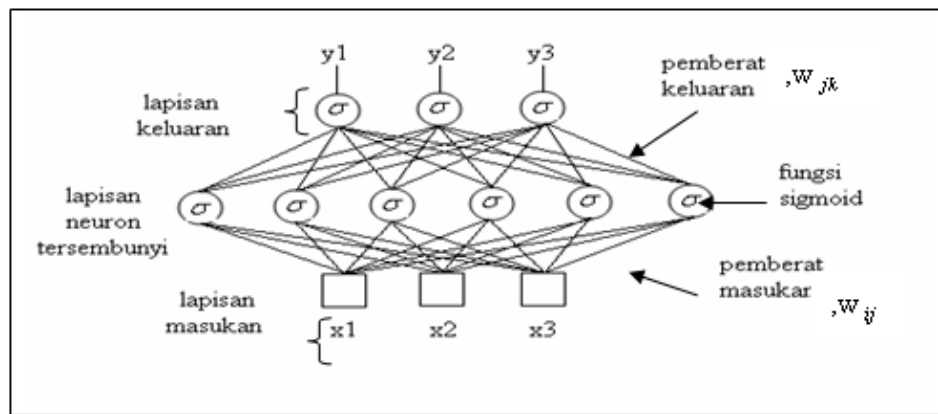
Rangkaian suap-balik berlaku apabila neuron-neuron yang mengalirkan isyarat dapat mengalir dalam dua bahagian.

#### c) Lapisan Rangkaian :

Lapisan rangkaian mempunyai tiga bahagian iaitu lapisan masukan, lapisan neuron dan lapisan keluaran. Setiap lapisan mempunyai tugas dan peranan masing-masing. Dalam lapisan neuron, bilangan lapisan yang terdapat dilapisan ini memngandungi lebih dari satu lapisan. Contoh yang sesuai untuk lapisan rangkaian ini adalah *Multilayer Perceptron (MLP)*.

### 2.2.4 Rangkaian MLP

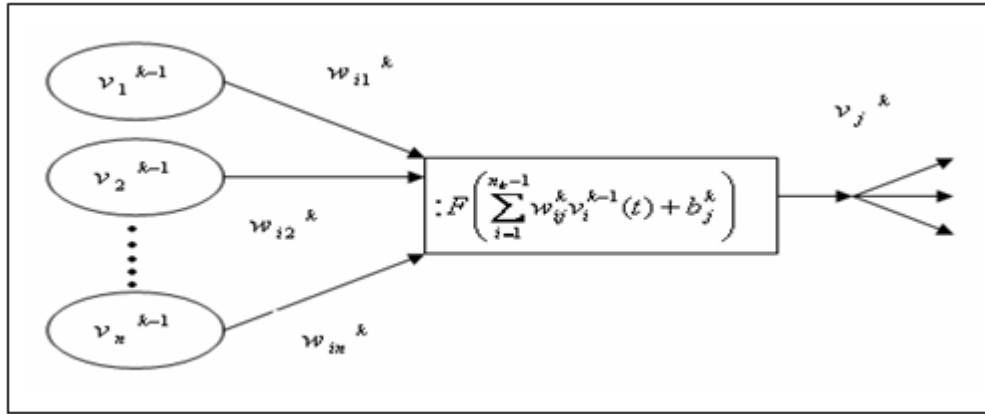
Neuron-neuron disambung antara satu sama lain untuk membentuk satu senibina RNB yang berstruktur selari. Umumnya, RNB yang ringkas ini mempunyai satu lapisan masukan dan satu lapisan keluaran. Setiap lapisan ini mempunyai neuron. Untuk RNB yang mempunyai lebih daripada dua lapisan, terdapat lapisan neuron tersembunyi di tengah-tengah antara lapisan masukan dan lapisan keluaran dan senibina ini dipanggil sebagai MLP (Mashor, 1997). Struktur rangkaian MLP ditunjukkan dalam Rajah 2.9.



**Rajah 2.9** : Struktur MLP dengan satu neuron tersembunyi

Data masukan dimasukkan kepada lapisan masukan dan seterusnya akan dihantar kepada lapisan neuron tersembunyi pertama. Hasil keluaran daripada lapisan neuron tersembunyi pertama ini akan dimasukkan kepada lapisan neuron tersembunyi yang kedua di mana proses ini bergantung kepada jumlah lapisan neuron tersembunyi yang digunakan. Lapisan yang paling akhir ialah lapisan keluaran iaitu lapisan yang akan memaparkan hasil keluaran rangkaian MLP. Fungsi pindah atau fungsi pangaktifan digunakan pada setiap lapisan neuron tersembunyi dan lapisan keluaran.

Setiap satu neuron yang terdapat di lapisan neuron tersembunyi dan lapisan keluaran mempunyai dua fungsi penggabungan dan fungsi pindah. Rajah 2.10 menunjukkan asas kepada satu unsur neuron ke- $i$  dalam lapisan ke- $j$ . Hasil keluaran neuron ke- $j$  daripada lapisan neuron tersembunyi ke- $k$  didapati melalui persamaan (2.5).



**Rajah 2.10** : Asas satu unsur neuron

$$v_j^k(t) = F\left(\sum_{i=1}^{n_{k-1}} w_{ij}^k v_i^{k-1}(t) + b_j^k\right) \quad ; \quad \text{untuk } 1 \leq j \leq n_k \quad (2.5)$$

Keluaran neuron ke- $i$  bagi lapisan keluaran ke- $m$  diberikan oleh persamaan (2.6)

$$y_i(t) = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} w_{ij}^m(t) v_i^{m-1}(t) \quad ; \quad \text{untuk } 1 \leq i \leq n_o \quad (2.6)$$

di mana,

$n_k$  = bilangan neuron dalam lapisan ke- $k$

$n_o$  = bilangan neuron dalam lapisan keluaran

$w$  = pemberat

$b$  = nilai ambang

$F(.)$  = fungsi pengaktifan atau fungsi pindah

#### 2.2.4.1 Fungsi Pindah atau Fungsi Pengaktifan

Penggunaan fungsi pindah atau fungsi pengaktifan bertujuan untuk menentukan keluaran menerusi pemetaan jumlah masukan berpemberat dan ambang. Kedudukan fungsi pindah ini terletak di dua lapisan iaitu lapisan neuron tersembunyi dan lapisan keluaran.

Dalam rangkaian MLP, penggunaan fungsi pindah yang biasa digunakan pada lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran adalah fungsi pindah jenis sigmoid. Ini boleh dirujuk pada Rajah 2.6. Fungsi sigmoid terbahagi kepada dua iaitu fungsi tan-sigmoid (*tansig*) dan fungsi log-sigmoid (*logsig*) (Demuth dan Beale, 2000). Persamaan fungsi tansig adalah seperti persamaan (2.7) di bawah :

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.7)$$

dan fungsi pindah logsig diberikan oleh persamaan (2.8) :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.8)$$

di mana  $x$  merupakan jumlah bersih masukan berpemberat bagi satu neuron. Pemilihan fungsi pindah akan mempengaruhi kepantasan masa proses pembelajaran.

#### 2.2.4.2 Asas Proses Pembelajaran MLP

Proses pembelajaran bagi RNB terbahagi kepada tiga jenis iaitu Pembelajaran Terselia (*Supervised Learning*), Pembelajaran Tak Terselia (*Unsupervised Learning*) dan Pembelajaran Bergred.

##### (a) Pembelajaran Terselia

Satu set data terdiri daripada data masukan dan data keluaran. Algoritma pembelajaran digunakan untuk melaraskan nilai pemberat dan *bias* agar hasil keluaran rangkaian menghampiri kepada nilai keluaran sebenar (Demuth dan Beale, 2000). MLP merupakan satu contoh pembelajaran terselia.

- (b) Pembelajaran Tak Terselia  
Memerlukan data masukan. Data keluaran tidak digunakan. Nilai pemberat dan *bias* dalam rangkaian dilaraskan mengikut tindakbalas data masukan (Demuth dan Beale, 2000).
- (c) Pembelajaran Bergred  
Memerlukan data masukan sahaja. Prestasi rangkaian diukur sesekali dan dirambat balik (suap-balik) untuk melaras pemberat (Mashor, 1997).

#### 2.2.4.3 Algoritma Pembelajaran MLP

Pembelajaran terselia memerlukan algoritma pembelajaran supaya dapat menghasilkan keluaran rangkaian yang hampir menyamai keluaran sebenar. Beberapa contoh algoritma pembelajaran terselia adalah *Adaline*, *Madaline*, *Backpropagation*, *Cauchy Machine (CM)*, *Adaptive Logic Network (ALN)*, *Adaptive Heuristic Critic (AHC)*, *Time Delay Neural Network (TDNN)*, *Backpercolation (Perc)*, *Learning Vector Quantization (LVQ)*, *General Regression Neural Network (GRNN)* dan banyak lagi (Sarle, 1997).

Umumnya, rangkaian MLP menggunakan algoritma jenis perambatan balik (*backpropagation*). Ia beroperasi dalam dua fasa apabila data masukan dan keluaran diberikan ke dalam rangkaian. Fasa yang pertama ialah data masukan akan dirambat dari lapisan masukan ke lapisan keluaran secara suap-depan dan memberikan nilai keluaran yang sebenar. Seterusnya ialah fasa yang kedua iaitu penghasilan ralat perbezaan bagi keluaran rangkaian dengan keluaran sebenar. Pada masa yang sama juga keluaran sebenar akan dirambat balik (suap-balik) dari lapisan keluaran ke lapisan yang sebelumnya. Tujuan dilakukan suap-balik ini agar dapat mengemaskinikan nilai pemberat dalam rangkaian. Proses ini dilakukan berulang kali sehingga nilai ralat purata kuasa dua (*Mean Square Error*) diperolehi iaitu hasil purata ralat perbezaan bagi keluaran sebenar dengan keluaran rangkaian (Demuth dan Beale, 2000). Persamaan bagi ralat ini diberikan oleh persamaan (2.9) di bawah.

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad (2.9)$$

di mana,

$Q$  = bilangan data masukan

$t(k)$  = data keluaran sebenar

$a(k)$  = data keluaran rangkaian

Algoritma perambatan balik yang popular digunakan adalah algoritma Levenberg-Marquardt. Antara jenis algoritma-algoritma yang lain ialah *Quasi-Newton*, *Resilient Backpropagation*, *One-Step Secant*, *Scaled Conjugate Gradient*, *Polak-Conjugate Gradient* dan *Fletcher-Powell Conjugate Gradient* (Demuth dan Beale, 2000).

#### 2.2.4.4 Algoritma Bayesian Regularization (BR)

Pada kebiasaannya, algoritma pembelajaran melibatkan pengubahsuaian fungsi objektif yang biasa digunakan seperti jumlah purata kuasa dua ralat keluaran rangkaian (MSE atau  $E_d$ )

$$F = E_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (2.10)$$

di mana  $N$  ialah bilangan data latihan dan  $e_i$  ialah ralat antara keluaran RNB dan nilai sebenar bagi data latihan ke  $i$ . Tujuan pengubahsuaian ini adalah untuk meningkatkan keupayaan model RNB. Bagi algoritma BR, objektif fungsi ini melibatkan penambahan satu lagi penggal,  $E_w$  iaitu jumlah kuasa dua pemberat rangkaian.

$$F = \beta E_d + \alpha E_w \quad (2.11)$$

Di mana  $\alpha = (1 - \beta)$  dan  $\beta$  adalah parameter yang akan ditentukan untuk mencari nilai yang terbaik di dalam rangka kerja *Bayesian*, dan  $E_w$  adalah seperti persamaan (2.12).

$$E_w = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_j^2 \quad (2.12)$$

$n$  = bilangan pemberat

Pemberat dan miring rangkaian adalah dianggap pembolehubah rawak mengikut distribusi *Gaussian* dan parameter adalah berkait dengan varian yang tidak diketahui

berhubung dengan distribusi ini. Diketahui bahawa teknik *regularization* ini memerlukan kos penghitungan matrik *Hessian*, untuk mengatasi kelemahan ini pendekatan *Gauss-Newton* kepada matrik *Hessian* digunakan.

### 2.3 Matlab

Matlab merupakan suatu perisian aturcara yang boleh menyelesaikan pelbagai jenis masalah yang melibatkan penggunaan matematik. Perisian yang digunakan untuk projek ini adalah jenis Matlab versi 7. Perisian ini amat bersesuaian dalam pengiraan matrik, pemprosesan isyarat, sistem kawalan serta lain-lain lagi dengan ciri grafik yang lebih baik.

Dalam perisian Matlab ini telah dimuatkan dengan aturcara yang melibatkan *Artificial Neural Network (ANN)*. Ini memudahkan pengguna untuk membina dan merekabentuk RNB yang dikehendaki. Antara arahan serta fungsi yang terdapat di dalam Matlab berkaitan dengan projek ini ditunjukkan dalam Jadual 2.2.

**Jadual 2.2** : Jenis-jenis arahan dan fungsi Matlab

Arahan (command)	Fungsi
<i>newff</i>	Membina rangkaian suap-depan
<i>train</i>	Melakukan proses latihan
<i>sim</i>	Membuat simulasi pada rangkaian
<i>trainlm</i>	Melatih rangkaian menggunakan algoritma <i>Levenberg-Marquardt</i>
<i>fopen</i>	Membuka fail baru
<i>save</i>	Menyimpan fail
<i>fprintf</i>	Memaparkan keluaran pada <i>Command Window</i>
<i>pn</i>	Menormalkan data masukan
<i>meanp</i>	Mengira purata data masukan
<i>stdp</i>	Mengira sisihan piawai data masukan
<i>ptrans</i>	Menggubah data set masukan
<i>transmat</i>	Menggubah matrik
<i>trastd</i>	Praproses purata dan sisihan piawai
<i>trapca</i>	Praproses penukaran matrik

## **BAB 3.0**

### **KAEDAH IMPLEMENTASI**

Kaedah implementasi mengandungi kesemua proses perjalanan projek. Bahagian ini akan menerangkan proses data-data geometri yang diambil dan carta alir yang menerangkan proses-proses tersebut. Data-data yang diambil seterusnya akan melalui proses penormalan. Data yang telah dinormalkan akan dimasukkan kedalam model RNB untuk dinormalkan dalam perisian Matlab. Nilai keluaran daripada RNB akan dibandingkan dengan nilai keluaran daripada keluaran proses penormalan. Nilai ini akan disimpan didalam satu fail untuk memudahkan proses memplotkan graf.

#### **3.1 Penerangan Keseluruhan Kerja**

Perlaksanaan projek ini telah melalui beberapa proses seperti di bawah :

1) **Penghasilan data TKE untuk corak geometri**

Penghasilan data TKE untuk setiap corak geometri diperolehi dengan menggunakan simulasi TKE. Antara corak-corak geometri bagi regim aliran yang dihasilkan adalah homogen, anulus, strata dan gelembung. Bagi sistem TKE ini, setiap satu corak geometri yang dihasilkan akan menghasilkan 66 nilai bacaan untuk beza kekuatan serta satu nilai pecahan gas pada bacaan yang ke-67 dengan menggunakan 12 bilangan elektrod. Data keluaran ini mempunyai nilai di antara 1 (paip penuh) dan 0 (paip kosong). Kemudian semua data keluaran yang diperolehi bagi setiap corak geometri ini akan diletakkan dalam satu fail dengan menganggapnya sebagai fail data masukan.

2) **Penyediaan data TKE untuk proses RNB**

Data keluaran yang telah disimpan tadi merupakan data mentah dan ianya perlu dinormalkan dengan menggunakan persamaan (2.2). Data tersebut telah dirawakkan sebelum ianya dimasukkan ke dalam sistem RNB. Model RNB yang digunakan adalah MLP.

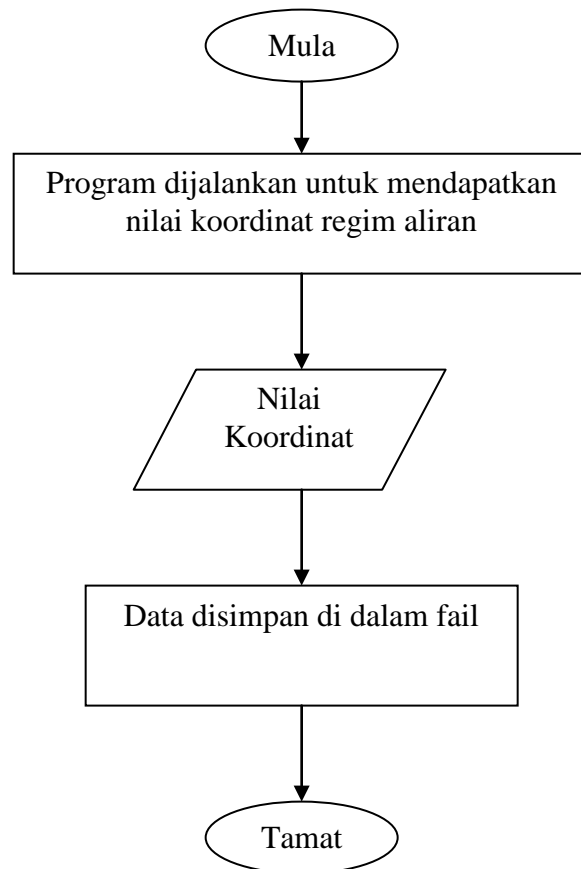


- 3) Proses perbandingan nilai ketinggian sasaran dengan nilai purata ketinggian keluaran RNB

Bilangan data yang dihasilkan oleh simulator TKE adalah sebanyak 1089 bagi kesemua regim aliran. Bagi proses perbandingan, nilai purata keluaran untuk 1089 data dikira. Nilai ini akan dibandingkan dengan nilai sasaran. Nilai ini perlu dimutlakkan bagi mengelakkan terdapatnya nilai negatif. Data-data yang diperolehi ini akan disimpan dalam satu fail untuk proses seterusnya.

Ralat yang diperolehi daripada proses perbandingan nilai purata ketinggian keluaran RNB dengan nilai ketinggian sasaran atau target akan digunakan untuk memplotkan graf. Parameter yang digunakan adalah nilai  $R^2$ , iaitu ketebalan saluran paip dan nilai  $\beta$ , iaitu sudut bagi satu elektrod penghadang. Parameter-parameter ini akan diubahkan untuk mendapatkan nilai ralat yang paling kurang. Jadi, ia harus dimulakan dari awal proses untuk setiap kali perubahan nilai parameter ini. Parameter yang optimum dicari bagi mendapatkan bacaan yang mempunyai ralat yang paling kecil.

Carta alir bagi proses-proses yang dijalankan ditunjukkan pada Rajah 3.1, Rajah 3.2 dan Rajah 3.3.



**Rajah 3.1** : Carta alir penentuan koordinat bagi regim aliran