

**PEMODELAN SISTEM PINTAR  
UNTUK MENENTUKAN NILAI PECAHAN MINYAK**

**Oleh**

**Nadzrie Bin Mohamood**

**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**

**Mac 2005**

## **ABSTRAK**

Tajuk kajian adalah pemodelan sistem pintar untuk menentukan pecahan minyak. Tujuan penyelidikan adalah untuk menentukan pecahan minyak di dalam saluran paip yang melibatkan aliran dua komponen iaitu minyak dan gas. Terdapat banyak jenis regim aliran yang mungkin terbentuk dalam saluran paip seperti strata, teras, anulus, gelembung dan juga homogen. Dalam kajian ini kesemua regim aliran ini direkabentuk dengan cara membina bahagian-bahagian bergeometri menggunakan aturcara dan dijadikan masukan kepada penyelaku (simulator) Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) untuk mendapatkan set data TKE dalam bentuk nilai pengukuran kemuatan bebas. Kajian ini menggunakan Rangkaian Neural Buatan (RNB) untuk menyelesaikan masalah dalam menentukan pecahan minyak. Keseluruhan kerja pula direalisasikan menggunakan perisian Matlab versi 6.5.1. Penyelidikan ini tidak akan meliputi fasa pembentukan semula imej dalam menentukan pecahan minyak. Keseluruhan data dari penyelaku TKE dibahagikan kepada 3 bahagian utama untuk digunakan dalam proses pembelajaran RNB. 40% daripada sejumlah data digunakan untuk melatih, 20% sebagai data pengesahan dan 40% selebihnya dijadikan data ujian. Pembahagian data-data ini dibuat secara rawak. Senibina RNB yang digunakan adalah dari jenis Radial Basis Function (RBF). Keluaran adalah di antara nilai 0 hingga 1 yang mana menunjukkan nilai pecahan minyak dalam keratan rentas saluran paip.

## **ABSTRACT**

The project title is modeling of an intelligent system for oil-fraction determination. The purpose of this project is to determine the fractions of oils in a pipeline containing two components, which are oil and gas. There are many types of flow regimes that could form in a pipeline such as stratified, core, annular, bubble, and homogenous flows. In this project all flow regimes need to be created by way of geometrical segments using program and will be fed into the Electrical Capacitance Tomography (ECT) simulator to get a set of ECT data which is represented in the form of independent capacitance measurements. This project uses an Artificial Neural Network (ANN) to solve the problem of oil-fraction determination. The entire work of this project realizes Matlab version 6.5.1 software. This project does not go through the image reconstruction stage to determine the oil-fraction. All those data from the ECT simulator will be divided into 3 categories to be used in learning process of ANN. 40% of the data are used for training, 20% for validation, and the remaining 40% for testing data. Each data division is done randomly. The ANN architecture used is Radial Basis Function (RBF). The RBF will be trained with the training data chosen before regarding to the various probability of fraction of oil in a vessel. The output is a value between 0 and 1, corresponding to the fraction of oil in a pipe cross-section.

## **PENGHARGAAN**

Assalamualaikum w.b.t

Alhamdulillah, bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya telah memberikan saya kekuatan serta ketabahan hati dalam menjayakan projek ini. Jutaan ucapan terima kasih saya ucapkan khas buat Dr. Junita Bt Mohamad Saleh selaku penyelia projek ini di atas segala bimbingan, tunjuk ajar serta dorongan yang beliau berikan sepanjang saya menjalankan projek ini. Kedua ibu bapa saya, abang serta kakak yang banyak memberikan semangat kepada saya. Tidak lupa juga kepada rakan-rakan yang turut banyak membantu serta memberi sokongan moral kepada saya terutamanya Mohd Azlan, Aidel Azhar dan Ahmad Fauzan yang mana telah banyak membantu saya dalam memahami masaalah projek ini sejak dari peringkat permulaan lagi. Clarice Gerard selaku teman baik yang banyak memberi sokongan dan juga rakan-rakan lain yang sama-sama menjalankan projek tahun akhir pada sidang akademik kali ini kerana turut sama membantu saya secara langsung mahupun secara tidak langsung. Juga ucapan terima kasih dari saya kepada semua staf Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik. Sumbangan dari anda semua yang terlibat tidak akan saya lupakan. Sekian, terima kasih.

-Nadzrie bin Mohamood, 2005-

# KANDUNGAN

<b>ABSTRAK</b>		ii
<b>PENGHARGAAN</b>		iv
<b>KANDUNGAN</b>		v
<b>BAB 1</b>	<b>PENGENALAN</b>	<b>1</b>
	1.0	Pendahuluan ..... 1
	1.1	Objektif Projek ..... 2
	1.2	Panduan laporan projek ..... 3
<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN ILMIAH</b>	<b>5</b>
	2.0	Pengenalan ..... 5
	2.1	Proses Tomografi ..... 5
	2.1.1	Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) ..... 6
	2.1.2	Prinsip Pengukuran ..... 9
	2.2	Rangkaian Neural Buatan (RNB) ..... 11
	2.2.1	Rangkaian Fungsi Asas Jejarian (RBF) ..... 15
	2.3	Perisian Matlab ..... 18
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>19</b>
	3.0	Pengenalan ..... 19
	3.1	Proses Penghasilan Geometri Aliran di dalam Paip ..... 19
	3.1.1	Geometri Aliran Paip Kosong dan Paip Penuh (Homogen) ..... 21
	3.1.2	Geometri Aliran Anulus ..... 23
	3.1.3	Geometri Aliran Gelembung ..... 24
	3.1.4	Geometri Aliran Strata ..... 25
	3.2	Penghasilan Data ..... 26
	3.3	Persiapan Data ..... 31

3.3.1	Penormalan dan Rawakan Data Mentah .....	31
3.3.2	Pembahagian Data untuk Pembelajaran RNB .....	32
3.4	Rekabentuk Rangkaian RBF .....	33
3.4.1	Membina Rangkaian RBF .....	34
3.4.2	Ujian Prestasi Rangkaian RBF .....	36
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>39</b>
4.0	Pengenalan .....	39
4.1	Rekabentuk Rangkaian RBF Dengan Pemalar Spread Kecil .....	39
4.2	Rekabentuk Rangkaian RBF Dengan Pemalar Spread Besar .....	42
4.2.1	Pemalar Spread Dalam Julat 136 sehingga 146 .....	48
4.2.2	Pemalar Spread Dalam Julat 135.4 sehingga 137.4 dan Julat 140 sehingga 142 .....	50
4.3	Perbincangan .....	54
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>57</b>
	<b>RUJUKAN</b>	
	<b>LAMPIRAN</b>	

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.0 Pendahuluan**

Penglibatan gabungan aliran gas-cecair merupakan suatu perkara yang penting dalam kebanyakan aplikasi pemprosesan dan juga peralatan dalam bidang perindustrian, terutamanya dalam sistem pemindahan petroleum. Semasa proses pemindahan petroleum dijalankan, adalah perlu untuk kita memantau kandungan aliran di dalam saluran paip. Ini membolehkan proses pengekstrakan petroleum menjadi lebih mudah dan berada dalam keadaan yang terkawal. Kebiasaanya, kandungan minyak mentah didalam saluran paip sepanjang proses penghantarannya dari telaga carigali ke pelantar minyak mengandungi campuran di antara petroleum, gas dan juga air laut. Oleh itu, dalam usaha untuk mengekstrak minyak mentah ini adalah perlu untuk kita mengetahui pecahan sebenar kandungan minyak mentah ini berbanding kandungan asing yang bercampur dengannya sepanjang proses penghantaran ini.

Dalam kajian ini, penganggaran pecahan komponen minyak daripada aliran gas-minyak di dalam saluran paip telah dijalankan. Penganggaran nilai pecahan komponen minyak ditentukan menggunakan sistem pintar, iaitu Rangkaian Neural Buatan (RNB). Kajian melibatkan beberapa jenis regim aliran yang berbeza iaitu strata, anulus, gelembung, dan juga aliran homogen (aliran keseluruhan dalam paip adalah dipenuhi minyak atau dipenuhi gas). Pecahan komponen minyak ditakrifkan sebagai nisbah luas permukaan keratan rentas paip yang dipenuhi oleh komponen minyak kepada jumlah luas keratan rentas keseluruhan paip tersebut. Sekiranya nisbah luas permukaan keratan rentas paip yang dipenuhi minyak adalah sebanyak 50% berbanding keseluruhan luas permukaan luas keratan rentas paip, maka nilai pecahan minyak adalah sebanyak 0.5. Nilai keluaran bagi pecahan komponen minyak ditetapkan diantara nilai 1 dan 0. Masukan kepada rangkaian neural buatan ini adalah nilai-nilai pengukuran kapasitan yang dijanakan menggunakan penyelaku Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE).

Dalam kajian ini, nilai anggaran pecahan komponen minyak diperolehi berdasarkan nilai keluaran RNB yang telah dilatih. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan nilai sebenar pecahan komponen berdasarkan ukuran penyelaku TKE untuk mendapatkan nilai purata ralat mutlak (*mean-absolute-error* - MAE ).

Pemodelan keseluruhan sistem dalam kajian ini adalah menggunakan perisian Matlab. Perisian Matlab digunakan untuk merekabentuk dua bahagian penting dalam kajian ini iaitu pengesan Tomografi Kemuatan Elektrik dan juga Rangkaian Neural Buatan.

### **1.1 Objektif Projek**

Beberapa tahun kebelakangan ini, telah banyak kajian berkaitan aplikasi tomografi kapasitan bagi tujuan penyelidikan dijalankan. Salah satu kegunaannya adalah untuk mengukur aliran gas-minyak di dalam saluran paip pemindahan (Xie *et al*, 1989). Klug dan Mayinger menggunakan teknik yang sama untuk mengukur pecahan komponen gas di dalam saluran paip yang melibatkan tiga regim aliran iaitu strata, anulus, dan gelembung (Klug and Mayinger, 1993). Kesemua maklumat yang diperolehi adalah berdasarkan kepada teknik pembentukan semula imej menggunakan berbagai algoritma seperti backprojection, iterative backprojection, ART dan sebagainya. Maklumat yang menyeluruh berkenaan dengan komponen yang dikaji diterjemah terus berdasarkan imej aliran yang diperolehi.

Sebagai alternatif kepada penggunaan algoritma, Nooralahiyah memperkenalkan satu kaedah baru dalam teknik pembentukan semula imej iaitu dengan menggunakan Rangkaian Neural Buatan (Nooralahiyah, 1995). Melalui pendekatan baru ini, penggunaan komputer bagi tujuan pembentukan semula imej yang lazim digunakan telah digantikan dengan rangkaian neural terselia *Single Layer Multi Output Network* (SLMON). Senibina rangkaian neural buatan dari jenis Perseptron Berbilang Lapisan dengan satu lapisan tersembunyi yang telah sedia dilatih bertindak sebagai pengesan untuk mengenal pasti regim-regim aliran yang berbeza (Hoyle *et al*, 1995).



Walaupun bagaimanapun, kedua-dua kaedah di atas melibatkan proses pembentukan semula imej. Melalui pentafsiran imej, maklumat yang diperolehi adalah lebih tepat. Namun peringkat ini akan memakan masa yang agak lama. Untuk mengelakkan keadaan ini, Mohamad Saleh dan Hoyle telah mencadangkan satu kaedah yang lebih cepat dan mudah tanpa melalui fasa pembentukan semula imej keratan rentas paip. Mereka mencadangkan bahawa data yang dijanakan oleh simulasi Tomografi Kemuatan Elektrik boleh terus digunakan untuk melatih rangkaian neural buatan untuk menghasilkan nilai anggaran pecahan komponen. Ini telah dibuktikan dengan penggunaan rangkaian neural *Multi Layer Perceptron* (MLP) dengan algoritma *Bayesian Regularization*. Rangkaian neural yang telah dilatih telah berjaya memberikan nilai anggaran yang tepat, iaitu nilai purata ralat mutlak (*mean-absolute-error* - MAE) dengan sisihan piawai sebanyak  $0.32\% \pm 0.01\%$  bagi anggaran pecahan minyak daripada aliran gas-minyak (Mohamad Saleh dan Hoyle, 2003)

Dalam kajian ini, kaedah yang sama digunakan oleh Mohamad Saleh dan Hoyle akan dilaksanakan tetapi dengan menggunakan rangkaian neural dari jenis Radial Basis Function (RBF). Tujuan utama projek ini dijalankan adalah untuk mengkaji keupayaan rangkaian RBF yang telah dilatih dalam menentukan anggaran pecahan minyak. Data TKE yang dihasilkan oleh penyelaku TKE untuk berbagai regim aliran yang berbeza sebagaimana dibincangkan sebelum ini akan digunakan untuk melatih rangkaian RBF.

## **1.2 Panduan Laporan Projek**

Laporan projek ini mengandungi 5 bab utama yang akan menerangkan secara terperinci keseluruhan perjalanan projek. Bab pertama merupakan pengenalan kepada latar belakang kajian yang dijalankan. Bab ini akan menerangkan secara ringkas tentang skop penyelidikan, ringkasan kajian awal yang berkait rapat dengan tujuan penyelidikan, serta objektif penyelidikan.

Bab kedua pula akan menyentuh tentang kajian-kajian ilmiah yang telah dijalankan. Bab ini akan memberikan penerangan berkenaan perkara-perkara utama yang patut

diketahui dalam menjalankan kajian ini. Secara amnya, kajian ilmiah ini membincangkan penyelidikan terhadap sistem Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE), Rangkaian Neural Buatan (RNB) dan juga perisian Matlab. Bab ini diharap mampu memberikan pemahaman tentang perkaitan ketiga-tiga komponen utama ini dan idea pelaksanaannya di dalam kajian.

Metodologi serta kaedah-keadah ujikaji yang digunakan dalam penyelidikan ini akan dibincangkan dalam bab ketiga. Bab ini akan menerangkan kaedah merekabentuk corak aliran menggunakan perisian Matlab, penjanaan dan penyediaan data yang akan digunakan untuk dijadikan masukan kepada RNB dan juga rekabentuk rangkaian neural RBF sebagai penganggar pecahan minyak.

Seterusnya bab keempat akan memberikan keputusan dari hasil kajian yang dijalankan. Analisa serta perbincangan juga akan disertakan dalam bab ini. Bab kelima iaitu bab yang terakhir pula akan menjelaskan kesimpulan yang diperolehi dari keseluruhan kajian.

## **BAB 2**

### **KAJIAN ILMIAH**

#### **2.0 Pengenalan**

Dalam bab ini, kajian ilmiah berkenaan komponen-komponen penting dalam penyelidikan dibincangkan. Pada awal bab, penerangan berkenaan sistem tomografi kemuatan elektrik (TKE) diberikan. Ini diikuti pula dengan kajian berkaitan rangkaian neural buatan (RNB) dan diakhiri dengan penggunaan perisian Matlab dalam keseluruhan penyelidikan ini.

#### **2.1 Proses Tomografi**

Kaedah pengukuran tomografi biasanya digunakan dalam prosedur perubatan, untuk mengimbas serta membina imej bahagian-bahagian badan manusia. Contoh teknik ini adalah seperti *Ultrasound Tomography*, *Optical Tomography*, *Positron Emission Tomography* (PET scan), *X-Ray Computed Axial Tomography* (CAT scan) dan berbagai lagi. Kaedah ini seringkali digunakan kerana ianya lebih mudah dikendalikan, selamat serta bersifat bebas gangguan (*non-intrusive*) terhadap peralatan proses (www.tomography.com, 2004).

Pada masa kini, penggunaan kaedah tomografi bukan lagi hanya tertumpu kepada bidang perubatan semata-mata malahan turut digunakan dalam bidang perindustrian terutamanya industri kimia kerana kebolehannya dalam menyelesaikan suatu masalah yang rumit dengan lebih terperinci. Dalam industri kimia, piawaian berkaitan keselamatan, perlindungan terhadap persekitaran, jaminan mutu, dan juga ketelitian dalam penghasilan produk amat dititikberatkan. Dengan itu teknik kawalan kualiti yang berkesan serta boleh diharapkan amat diperlukan.

Terdapat berbagai teknik tomografi yang digunakan contohnya seperti teknik tomografi pancaran sinar dan teknik tomografi optik. Daripada teknik-teknik yang telah sedia ada ini, teknik tomografi berasaskan elektrik telah menjadi satu pendekatan baru

dalam bidang pembangunan sistem tomografi. Teknik tomografi elektrik, adalah teknik pengukuran yang berasaskan kepada perbezaan ciri-ciri elektrik atau elektromagnet komponen-komponen di dalam isipadu bahan yang diukur. Teknik tomografi elektrik termasuklah Tomografi Kemuatan Elektrik (*Electrical Capacitance Tomography* - ECT), Tomografi Rintangan Elektrik (*Electrical Resistance Tomography* - ERT), Tomografi Galangan Elektrik (*Electrical Impedance Tomography* - EIT) dan juga Tomografi Kearuhan Elektromagnet (*Electromagnetic Inductance Tomography* - EIT) (www.tomography.com, 2004). Daripada teknik-teknik tomografi elektrik ini, Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) adalah teknik yang seringkali digunakan serta ditumpukan dalam industri.

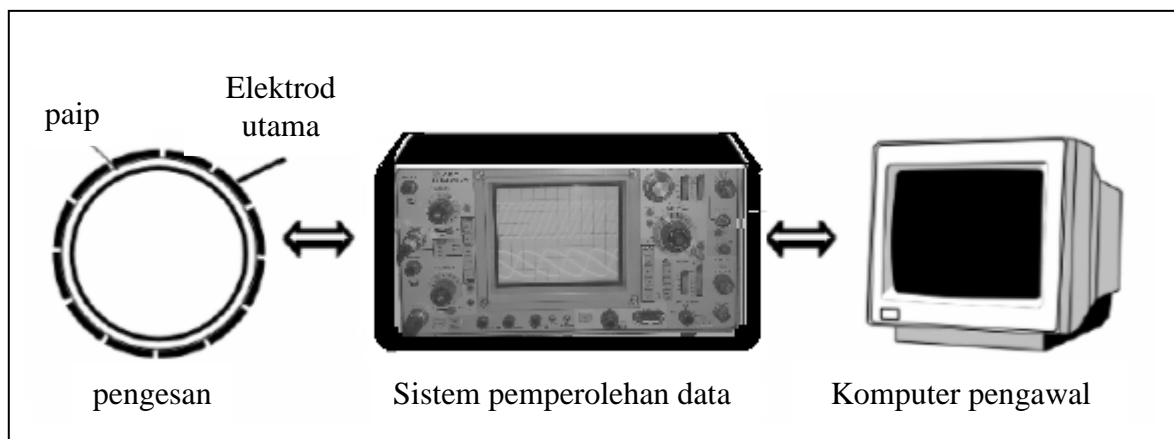
Di dalam aplikasi perindustrian, teknik tomografi kemuatan membolehkan suatu proses diseliaikan dengan lebih terperinci serta turut berupaya memberikan pengawasan serta kawalan yang lebih teliti terhadap peralatan proses. Ia membuka satu peluang baru dalam usaha menghasilkan suatu produk yang berkualiti tinggi serta meningkatkan tahap keselamatan dalam menjalankan proses (Reinecke dan Mewes, 1996).

### **2.1.1 Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE)**

Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) merupakan suatu teknik untuk mendapatkan maklumat berkaitan taburan sesuatu kandungan yang melibatkan campuran bahan dielektrik di dalam paip atau saluran dengan mengukur perbezaan nilai kemuatan elektrik menggunakan set-set elektrod pengesan yang diletakkan di sekeliling saluran tersebut (www.tomography.com, 2004). Tujuan utamanya adalah untuk digunakan pada dua bahan yang mempunyai pemalar dielektrik (kebertelusan) yang berbeza. Bahan yang ingin diukur menggunakan teknik TKE ini pula mestilah dari bahan dielektrik yang tidak mengalirkan (*non-conductive*) elektrik seperti minyak, plastik ataupun bahan-bahan seumpamanya. Oleh kerana nilai kemuatan adalah berasaskan kepada nilai pengukuran kebertelusan bahan yang berada di antara dua elektrod, maka komponen-komponen yang mempunyai ciri-ciri dielektrik yang berlainan dapat dibezakan menggunakan kaedah ini.

Sistem TKE ini telah digunakan dengan meluas dalam aplikasi pemantauan lapisan terbendalir (*fluidized bed*), pengukuran kadar aliran di dalam sistem penyampaian pneumatik (*pneumatic conveying*), pengimejan nyalaan dan pembakaran serta pemantauan aliran gas-minyak. Kebiasaannya maklumat yang diperolehi adalah seperti imej keratan rentas kandungan yang berada di dalam saluran, nilai pecahan isipadu serta nilai halaju kandungan dalam paip bagi aliran dua fasa.

Peralatan asas sistem TKE ini adalah melibatkan pengesan kemuatan (elektrod utama), pengesan elektronik, peralatan mengukur nilai kemuatan, serta komputer untuk tujuan pembinaan semula imej (Beck *et al*, 1996).



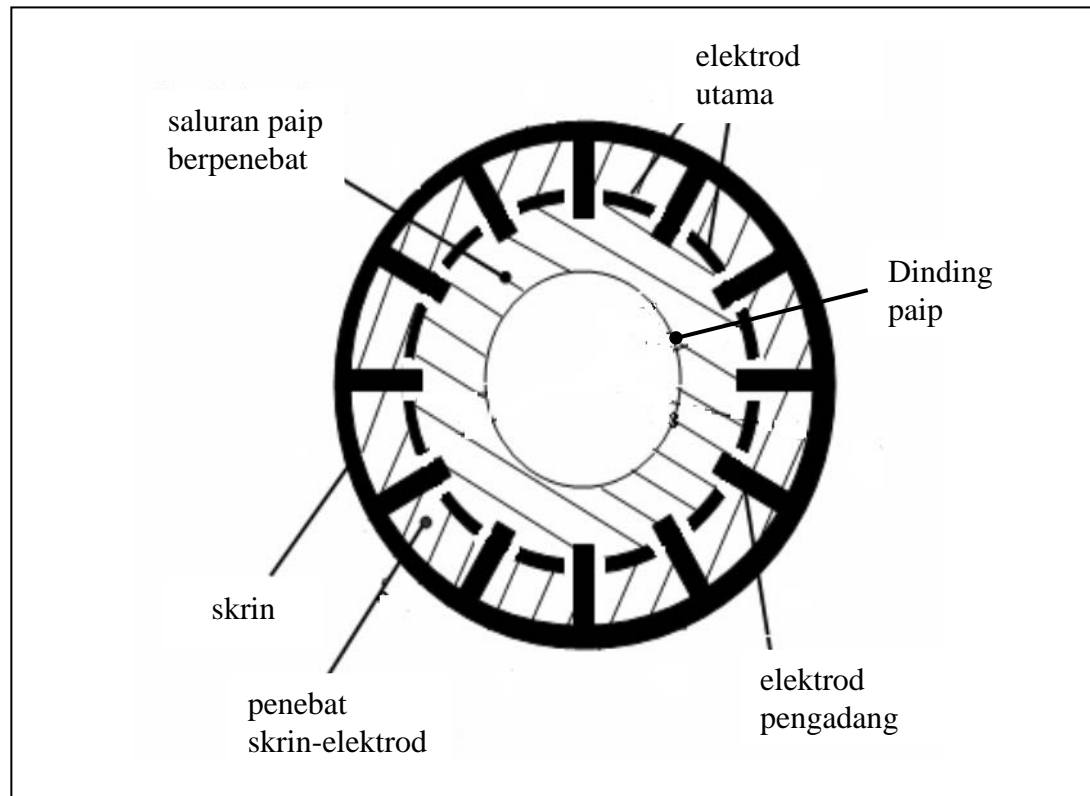
**Rajah 2.1** : Peralatan asas dalam sistem TKE

Sistem TKE boleh digunakan pada sebarang bentuk keratan rentas saluran, tetapi kebiasaannya digunakan pada saluran berbentuk bulatan (Byars, 2001). Elektrod-elektrod untuk mengukur kemuatan boleh dipasang samada di dalam ataupun di luar saluran. Jika dinding saluran adalah dari jenis bahan penebat seperti plastik, elektrod-elektrod ini biasanya diletakkan pada permukaan luar saluran atau paip. Tetapi jika paip adalah dari jenis bahan pengalir elektrik, elektrod-elektrod pengesan ini akan dipasang pada permukaan dalam dinding saluran. Untuk memudahkan pengukuran, dinding paip dari jenis penebat kebanyakannya digunakan dalam kebanyakan aplikasi. Walaubagaimanapun bagi pengesan dengan elektrod luaran, nilai kebertelusan bagi dinding saluran akan menyebabkan perubahan tidak lurus dalam ukuran kemuatan yang diperolehi, yang mana akan

meningkat atau menyusut bergantung kepada ketebalan dinding paip itu sendiri, juga nilai keberaliran bagi dinding pengesan dan kandungan bahan dalam saluran (Byars, 2001). Untuk meningkatkan kecekapan sistem TKE ini, elektrod pengadang yang dibumikan diletakkan diantara elektrod-elektrod pengesan untuk mengelakkan gangguan elektromagnet luaran serta mengurangkan kemuatan tersesat (Reinecke dan Mewes, 1995).

TKE adalah satu teknik pengukuran yang pantas, yang mana berupaya untuk merakam ciri-ciri dinamik lapisan terbendalir (*dynamics of fluidized bed*) serta bersifat bebas terhadap gangguan (*non-intrusive*) (Pungsley, 1999). Dalam satu kajian yang lain pula, sistem TKE ini telah dibuktikan dapat merakam imej dengan kepantasan 200 imej sesaat dengan menggunakan 8 elektrod pengesan (www.tomography.com, 2004). Walaubagaimanapun, teknik ini tidak berupaya untuk memberikan kebezajelasan ruang (*spatial resolution*) yang tinggi jika dibandingkan dengan teknik tomografi yang lain seperti teknik tomografi yang berasaskan pancaran sinar-X (*X-ray transmission*)

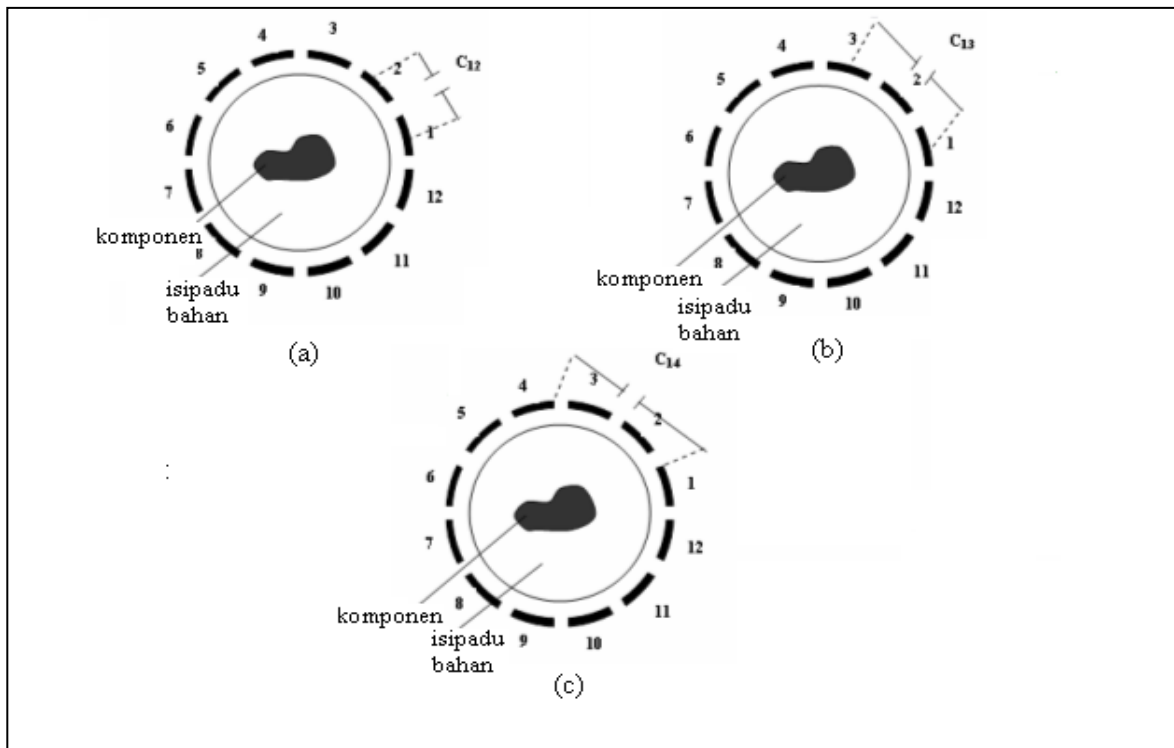
Pengesan TKE adalah ditunjukkan sebagaimana dalam Rajah 2.2. Pengesan TKE ini terdiri daripada elektrod primer, elektrod pengadang, dan skrin (Xie *et al*, 1992).



**Rajah 2.2 :** Gambarajah skematik pengesan TKE

### 2.1.2 Prinsip Pengukuran

Nilai ukuran kekuatan diperolehi berdasarkan kamiran taburan ciri-ciri bahan terhadap lokasi bahan dalam kawasan pengesanan. Elektrod pemancar, S akan menjanakan isyarat dan akan disampaikan kepada elektrod penerima, R. Pada satu-satu masa, hanya dua elektrod akan terlibat dalam pengukuran. Bacaan yang diperolehi bagi setiap pengukuran di antara pasangan elektrod ini akan berbeza diantara satu sama lain. Ini kerana, komponen-komponen yang mempunyai nilai kebertelusan yang tertentu akan sentiasa berubah kedudukannya. Sistem pengesan TKE ini akan lebih sensitif pada komponen yang berada berdekatan dengan dinding paip dan kurang sensitif pada komponen yang berada jauh dari dinding paip. Penjanaan set-set bacaan yang berbeza dilakukan dengan mengukur nilai kekuatan secara berturutan di antara dua elektrod dengan kelajuan yang tinggi. Turutan pengukuran nilai kekuatan ini digambarkan sebagaimana dalam Rajah 2.3.



**Rajah 2.3 :** Gambaran skematik turutan pengukuran kapasitan dengan 12 elektrod (Reinecke dan Mewes, 1995)

Dalam satu kitaran pengukuran lengkap (TKE dengan N elektrod), pada mulanya elektrod 1 akan dibekalkan dengan sumber voltan positif dan bertindak sebagai elektrod sumber. Manakala elektrod-elektrod selebihnya pula akan berada pada beza upaya bumi maya (*virtual earth*) dan dijadikan elektrod pengesan. Pada keadaan ini, nilai kemuatan diantara pasangan elektrod 1 dan 2 diukur, kemudian diikuti dengan pasangan elektrod 1 dan 3 sehingga pasangan elektrod 1 dan N. Selepas kesemua bacaan kemuatan di antara kesemua pasangan elektrod ini diukur, elektrod 2 pula dijadikan elektrod sumber dengan mengenakan beza upaya positif terhadapnya. Elektrod-elektrod selebihnya pula akan dikenakan beza upaya bumi maya dan sekali lagi bertindak sebagai elektrod pengesan kecuali elektrod 1. Pada masa ini elektrod 1 akan dibumikan dan dipanggil elektrod lebih (*redundant electrode*) serta bertindak sebagai elektrod pengadang. Nilai kemuatan yang diukur adalah melibatkan pasangan elektrod 2 dan 3, kemudian 2 dan 4 sehinggalah pasangan elektrod 2 dan N. Proses ini akan berterusan sehinggalah elektrod N-1 dijadikan elektrod sumber manakala elektrod N dijadikan elektrod pengesan sementara elektrod-



elektrod selebihnya bertindak sebagai elektrod pengadang. Pada kitar terakhir ini hanya 1 nilai kekuatan diukur iaitu melibatkan pasangan elektrod N-1 dan elektrod N.

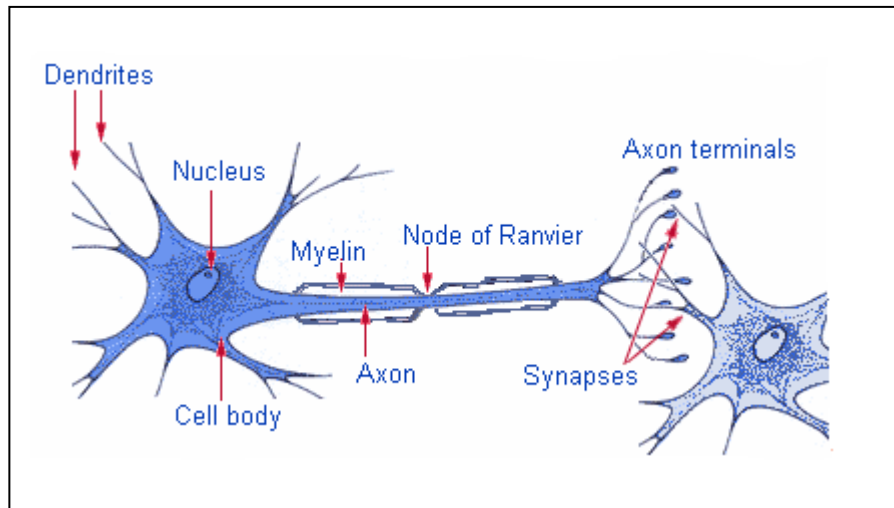
Secara umumnya, penjana set-set nilai pengukuran kapasitan yang berbeza ini adalah bergantung kepada bilangan elektrod yang digunakan. Bilangan keseluruhan data, M yang diperolehi dengan N bilangan elektrod dijelaskan berdasarkan persamaan berikut (xie *et al*, 1989):

$$M = \frac{N(N - 1)}{2} \quad (2.1)$$

## **2.2 Rangkaian Neural Buatan (RNB)**

Prinsip pengoperasian rangkaian neural buatan (RNB) adalah dianalogikan berdasarkan konsep pemikiran otak manusia. Ia mengandungi rangkaian yang mempunyai sambungan unit neuron buatan yang mempunyai prinsip operasi yang hampir sama dengan rangkaian neural biologi, berkebolehan untuk belajar dan menjadi pintar. Pembinaan struktur dan proses pembelajarannya juga adalah berdasarkan kepada neural biologi manusia. Ia direka untuk meniru sebahagian daripada kemampuan otak manusia seperti pemrosesan isyarat, pengecaman corak dan membuat keputusan.

Dalam rangkaian neural biologi, ia terdiri daripada neuron yang merupakan unit struktur dan fungsi asas sistem saraf manusia. Neuron terdiri daripada nukleus, sel badan, dendrit, sinaps dan satu akson. Dendrit akan disambungkan kepada akson neuron yang berlainan. Neuron-neuron membenarkan pemindahan maklumat dari satu sel ke satu sel yang lain. Maklumat adalah dalam bentuk isyarat elektrik dan dikenali sebagai impuls. Struktur asas neuron biologi ditunjukkan dalam Rajah 2.4.

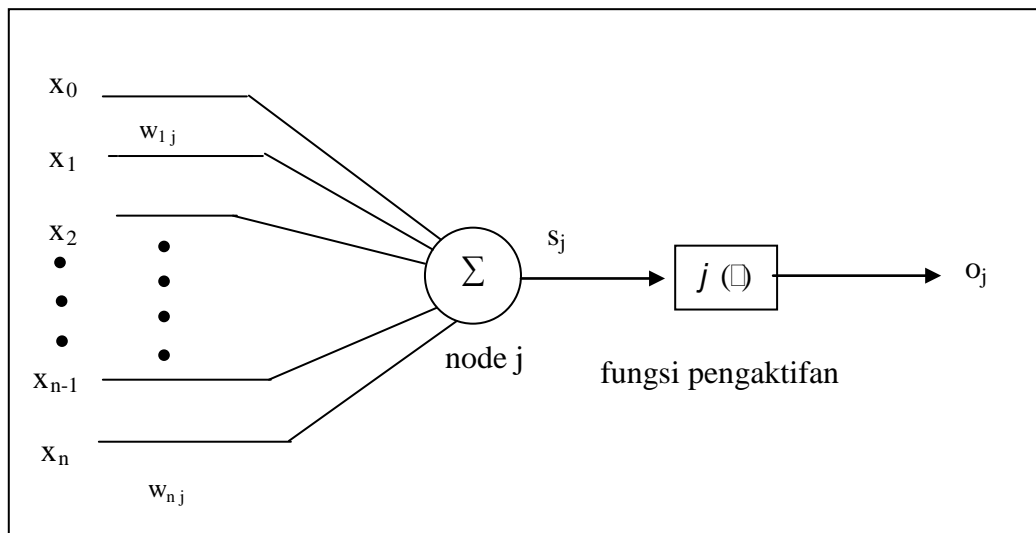


**Rajah 2.4 :** Gambarajah neuron biologi (J G Johnson, 1999)

Amnya seperti rangkaian neural biologi, rangkaian neural buatan merupakan satu sistem neuron yang disambungkan antara satu sama lain. Beberapa neuron bertindak sebagai neuron rangkaian dan data akan dihantar kepada neuron-neuron perantara untuk diproses. Model asas neuron ditunjukkan dalam Rajah 2.5. Principe *et al.* (1999) menakrifkan rangkaian neural buatan (RNB) sebagai suatu sistem yang teragih, boleh suaikan, dan umumnya mesin pembelajaran tak lurus yang dibina daripada elemen-elemen pemproses yang berbeza di mana setiap elemen pemproses ini menerima sambungan dari elemen pemproses yang lain ataupun dari dirinya sendiri.

Aliran isyarat pada setiap sambungan adalah diskalakan dengan parameter yang boleh diubah, dipanggil pemberat sambungan (*weight*),  $w_{i,j}$ . Pemberat sambungan ini wujud disetiap sambungan dan nilainya diubah dan dikemaskini secara terus berdasarkan data-data latihan. Fungsi dan prestasi RNB bergantung kepada senibina, ciri-ciri rangkaian, pemberat sambungan dan proses pembelajaran rangkaian. Proses pembelajaran rangkaian neural melibatkan dua fasa iaitu fasa latihan dan juga ujian. Pada fasa latihan, rangkaian akan dimasukkan dengan set data latihan dan akan belajar ciri-ciri statik data masukan. Ciri-ciri statik termasuklah corak perubahan keseluruhan data. Dengan latihan ini rangkaian akan berupaya untuk mewakili keseluruhan data tersebut. Melalui latihan juga, nilai optimum

parameter-parameter rangkaian turut akan ditentukan. Pada fasa ujian, set data ujian iaitu set data yang baru serta berlainan dengan set data latihan sebelumnya akan dijadikan masukan kepada rangkaian. Tujuan set latihan ini adalah untuk menguji keupayaan rangkaian neural yang direkabentuk untuk mewakili keseluruhan data yang dipelajari sebelumnya melalui fasa latihan.

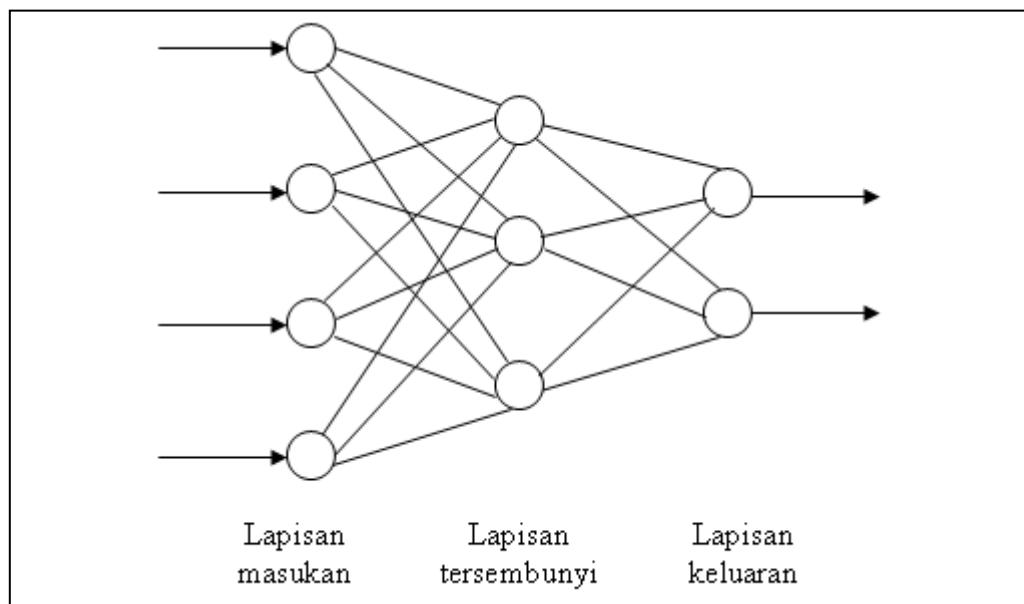


**Rajah 2.5 :** Model asas neuron buatan

Ukuran nilai ralat akan menentukan sejauh mana ketepatan perwakilan dapat dilaksanakan oleh rangkaian neural yang direkabentuk. Nilai ralat diperolehi dengan membandingkan nilai keluaran daripada rangkaian neural dengan nilai sambutan yang sebenar. Dalam merekabentuk RNB, parameter-parameter sistem pada rangkaian tidak perlu ditetapkan. Ini kerana, ianya akan diekstrak secara automatik berpandukan data-data masukan dan juga sambutan sebenar berdasarkan algoritma pembelajaran yang digunakan.

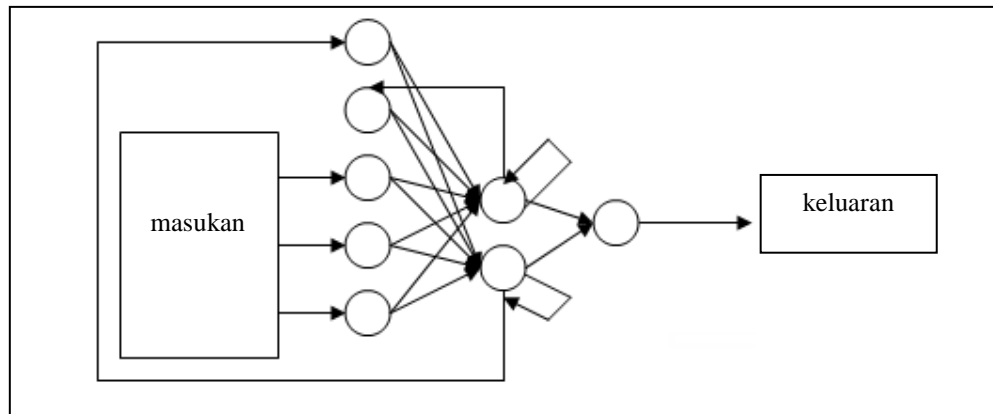
Secara amnya, senibina rangkaian neural dibahagikan kepada dua jenis yang utama iaitu rangkaian neural suap depan (*feed forward neural network*) dan juga rangkaian neural suap balik (*feedback neural network*) (Mat Isa, 2003).

Rangkaian neural suap depan terdiri daripada 3 lapisan iaitu lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan juga lapisan keluaran. Senibina rangkaian ini ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Lapisan tersembunyi merupakan medium perantaraan di antara lapisan masukan dan juga lapisan keluaran. Rangkaian ini hanya membenarkan setiap neuron untuk menerima data masukan dari lapisan sebelumnya sahaja. Contoh rangkaian suap depan yang biasa digunakan adalah seperti *Radial Basis Function* (RBF) dan juga *Multilayer Perceptron* (MLP).



**Rajah 2.6 :** Rangkaian neural suap depan

Manakala dalam rangkaian neural suap balik pula, yang berbeza adalah ianya mempunyai sekurang-kurangnya satu gelung suap balik seperti yang digambarkan dalam Rajah 2.7. Sama seperti rangkaian neural suap depan, rangkaian ini juga mempunyai 3 lapisan. Dengan adanya gelung suap balik ini, hasil dari neuron keluaran akan disuap balik kepada neuron masukan rangkaian sebagai data baru. Contoh rangkaian suap balik adalah seperti adaptive resonance theory (ART) dan Hopfield.



**Rajah 2.7 : Rangkaian neural suap balik**

### 2.2.1 Rangkaian Fungsi Asas Jejarian (RBF)

Senibina rangkaian Radial Basis Function (RBF) terdiri daripada 3 lapisan utama iaitu lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan juga lapisan keluaran. Rangkaian ini ditunjukkan dalam Rajah 2.8. Neuron pada lapisan tersembunyi mengandungi satu set fungsi yang dipanggil fungsi asas jejarian. Keluaran bagi rangkaian RBF adalah gabungan lurus keluaran daripada lapisan tersembunyi (Sundararajan *et al.*, 2002). Ciri-ciri nod rangkaian suap depan berbilang lapisan biasanya menggunakan fungsi sigmoid, tetapi dalam rangkaian RBF berbagai fungsi asas jajarjian,  $\phi(r)$  telah digunakan seperti (Sundararajan *et al.*, 2002);

$$1. \text{ Thin-plate-spline function: } f(r) = r^2 \log(r) \quad (2.2)$$

$$2. \text{ Multiquadric function: } f(r) = (r^2 + \sigma^2)^{1/2} \quad (2.3)$$

$$3. \text{ Inverse multiquadric function: } f(r) = \frac{1}{(r^2 + \sigma^2)^{1/2}} \quad (2.4)$$

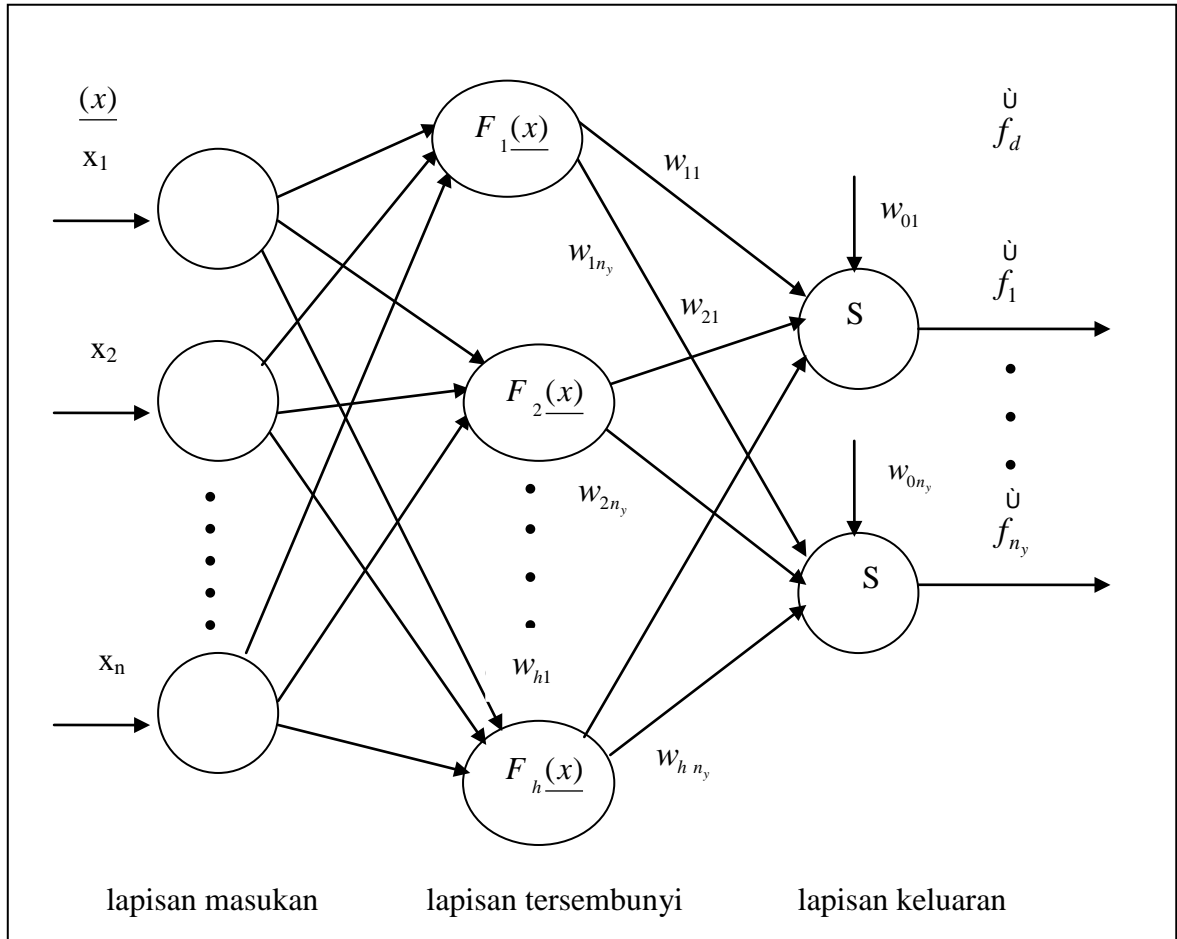
$$4. \text{ Gaussian function: } f(r) = \exp(-r^2 / \sigma^2) \quad (2.5)$$

di mana

$r$  : Ukuran jarak Euclidean diantara pusat rangkaian RBF,  $\mu$  dan juga data masukan,  $\mathbf{x}$ ,

$$r = \| \mathbf{x} - \mathbf{m} \|$$

$\mathbf{s}$  : pembolehubah nyata yang ingin ditentukan



**Rajah 2.8** : Struktur rangkaian neural RBF (Sundararajan *et al.*, 2002)

Keluaran rangkaian RBF diberikan oleh persamaan (Sundararajan *et al.*, 2002),

$$f(\mathbf{x}) = \underline{w}_0^T + \sum_{k=0}^h \underline{w}_k^T f_k(\mathbf{x}) \quad ; \quad \mathbf{x} \in R^{n_x} \quad (2.6)$$

$$f_k(\mathbf{x}) = \left( -\frac{1}{s_k^2} \| \mathbf{x} - \mathbf{m}_k \|^2 \right) \quad (2.7)$$

di mana  $\mathbf{x}$  : vektor masukan kepada rangkaian

$h$  : bilangan neuron tersembunyi

- $m_k$  : pusat neuron tersembunyi ke-k
- $f_k$  : lebar neuron tersembunyi ke-k
- $\|\cdot\|$  : jarak Euclidean
- $f(\cdot)$  : keluaran rangkaian RBF
- $w_k$  : pemberat sambungan daripada neuron tersembunyi ke-k kepada neuron keluaran
- $w_0$  : terma pincangan

Penggunaan fungsi asas jejarian pada setiap nod tersembunyi untuk memproses data masukan telah menyebabkan rangkaian RBF bersifat tak lurus. Dengan itu, aplikasi rangkaian RBF ke atas sistem lurus akan menyebabkan sistem tersebut akan dimodelkan sebagai sistem tak lurus (Mat Isa, 2003). Saiz rangkaian RBF ditentukan berdasarkan bilangan nod tersembunyi dan juga nod masukan. Rangkaian RBF memerlukan lebih banyak nod berbanding rangkaian suap depan lain. Prestasi rangkaian akan meningkat dengan pertambahan saiz rangkaian. Ralat keluaran juga akan berkurangan dengan pertambahan saiz rangkaian. Kekurangan bilangan nod-nod ini akan menimbulkan masalah terkurang padanan, manakala bilangan nod yang berlebihan pula akan menyebabkan fenomena terlebih padanan. Penambahan nod pada mulanya akan meningkatkan prestasi rangkaian. Tetapi dengan penambahan berlebihan terutama apabila bilangan nod adalah bersamaan atau melebihi bilangan data masukan, pemetaan terus akan terjadi. Hafalan data masukan oleh nod-nod akan terjadi. Rangkaian akan hanya mampu belajar ciri-ciri spesifik data sahaja dan bukan ciri statik sepertimana yang dikehendaki. Dalam keadaan ini, prestasi rangkaian akan meningkat pada fasa latihan tetapi menurun pada fasa ujian. Dua parameter dalam rangkaian RBF yang perlu ditentukan adalah lokasi pusat rangkaian neuron tersembunyi,  $m_k$  dan juga pemberat sambungan,  $w_k$ . Penempatan pusat rangkaian adalah merujuk kepada algoritma pembelajaran pada lapisan tersembunyi, manakala penentuan pemberat sambungan pula merujuk kepada algoritma pembelajaran pada lapisan keluaran.

Melalui penyelidikan ini, rangkaian RBF yang akan direkabentuk akan mempunyai 66 nod masukan dan satu nod keluaran. Setiap nod masukan adalah dijadikan masukan kepada setiap nilai bacaan kemuatan yang berbeza untuk kesemua regim aliran yang terlibat. Nilai keluaran adalah merujuk kepada nilai pecahan komponen minyak dalam saluran paip yang ditentukan melalui rangkaian RBF. Nilai pecahan minyak ini adalah dalam julat 0 dan 1.

### 2.3 Perisian Matlab

Perkataan Matlab adalah singkatan kepada *Matrix Laboratory*. Perisian Matlab menggunakan teknik asas manipulasi operasi matrik (Idris, 1999). Perisian ini amat sesuai digunakan untuk tujuan analisis pengiraan matematik, pengiraan membabitkan operasi-operasi matrik, pemprosesan isyarat, dan juga kawalan sistem dengan ciri-ciri grafik yang menarik.

Perisian Matlab akan digunakan secara menyeluruh dalam kajian ini bermula dari penjanaan regim aliran, penghasilan data sehinggalah kepada proses merekabentuk rangkaian RBF. Kesemua ini akan dilaksanakan melalui program aturcara dalam perisian Matlab dengan bantuan *toolbox* yang terdapat dalam perisian ini. Dengan berbantuan *toolbox* ini, proses pembangunan sistem akan menjadi lebih mudah dengan kehadiran banyak fungsi-fungsi yang telah sedia ada. Fail data yang digunakan dalam perisian ini adalah samada dalam bentuk perduaan (*binary*) ataupun kod ASCII. Kebiasaannya fail bentuk perduaan, "file.mat" digunakan sebagai jenis data piawai. Kegunaannya adalah dikhususkan untuk aturcara dalam perisian matlab.

Dalam kajian ini, *Artificial Neural Network toolbox* dan *Partial Differential Equation toolbox* yang terdapat dalam perisian ini akan digunakan untuk merekabentuk dan membangunkan keseluruhan sistem melibatkan penghasilan data dan senibina rangkaian RBF.



## **BAB 3**

### **METODOLOGI**

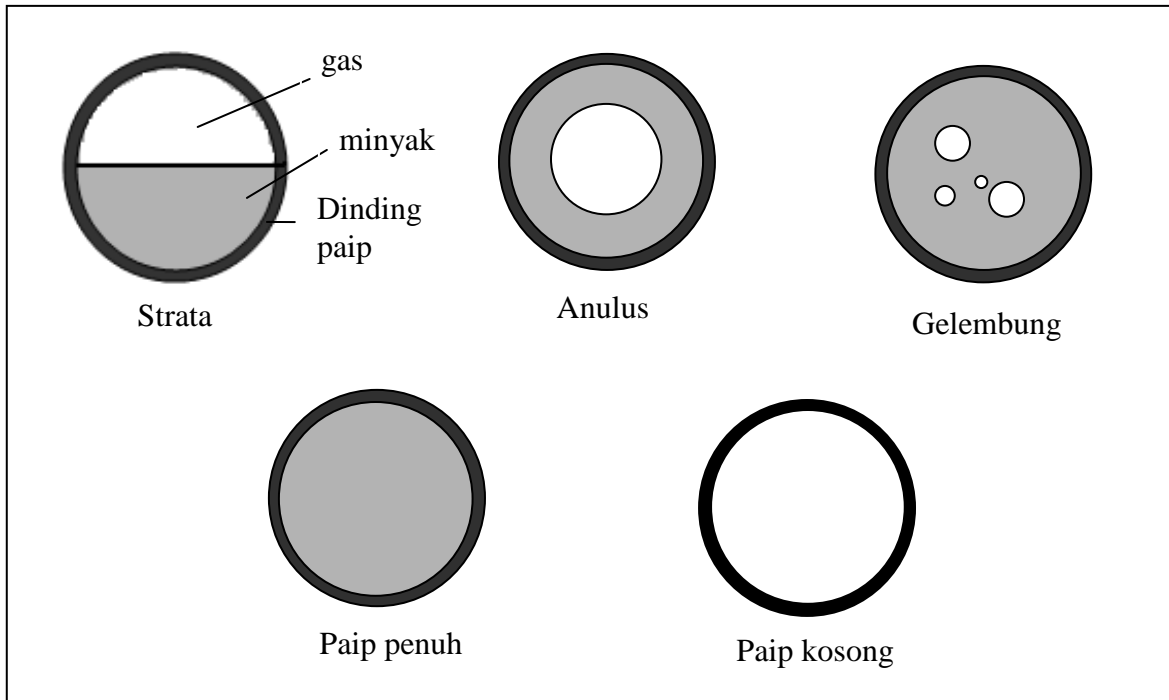
#### **3.0 Pengenalan**

Di dalam bab ini, penerangan tentang kaedah pelaksanaan penyelidikan berkaitan penyelaku Tomografi Kemuatan Elektrik (TKE) dan rekabentuk rangkaian Radial Basis Function (RBF) akan diberikan. Ini meliputi langkah penghasilan regim-regim aliran, penjanaan data berdasarkan regim aliran yang direkabentuk serta penyediaan data sebagai masukan kepada rangkaian neural RBF. Di akhir bab ini, kaedah merekabentuk RBF sebagai penganggar pecahan minyak akan dibincangkan.

#### **3.1 Proses Penghasilan Geometri Aliran di dalam Paip**

Seperti dinyatakan sebelum ini, penyelidikan ini adalah bertujuan untuk menentukan nilai pecahan minyak di dalam saluran paip yang hanya mengandungi komponen minyak dan gas. Berbagai jenis regim aliran yang mungkin terbentuk di dalam saluran paip semasa proses aliran berlaku. Namun dalam penyelidikan ini, hanya 5 regim aliran yang melibatkan regim aliran strata, anulus, gelembung, penuh minyak dan paip kosong (penuh gas) dipilih. Regim-regim aliran ini ditunjukkan seperti di dalam Rajah 3.1.

Kesemua regim aliran ini direkabentuk terlebih dahulu melalui aturcara Matlab berdasarkan teori Kaedah Unsur Terhingga ( *Finite Element Method* - FEM). Kesemua regim aliran yang sudah siap direkabentuk kemudian dijadikan masukan kepada penyelaku TKE untuk mendapatkan data-data bacaan perbezaan kemuatan.



**Rajah 3.1 : Regim-regim aliran**

Rekabentuk regim-regim aliran ini dilaksanakan berdasarkan idea gabungan beberapa segmen geometri. Setiap segmen geometri ini direkabentuk dalam arah lawan jam dan bersambungan antara satu sama lain untuk membentuk satu corak aliran yang lengkap di dalam saluran paip. Segmen-segmen geometri ini dijanakan melalui aturcara Matlab berdasarkan format berikut:

Satu segmen

Geometri = [ N X<sub>1</sub> X<sub>2</sub> Y<sub>1</sub> Y<sub>2</sub> domain kiri domain kanan X<sub>c</sub> Y<sub>c</sub> R ]

Di mana N : 1 untuk garis lengkung

2 untuk garis lurus

X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub> : titik koordinat permulaan garis

X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub> : titik koordinat akhir garis

Domain kiri : nilai kebertelusan bagi komponen di sebelah kiri garis

Domain kanan : nilai kebertelusan bagi komponen di sebelah kanan garis

$X_c, Y_c$  : koordinat titik tengah garisan

$R$  : jejari

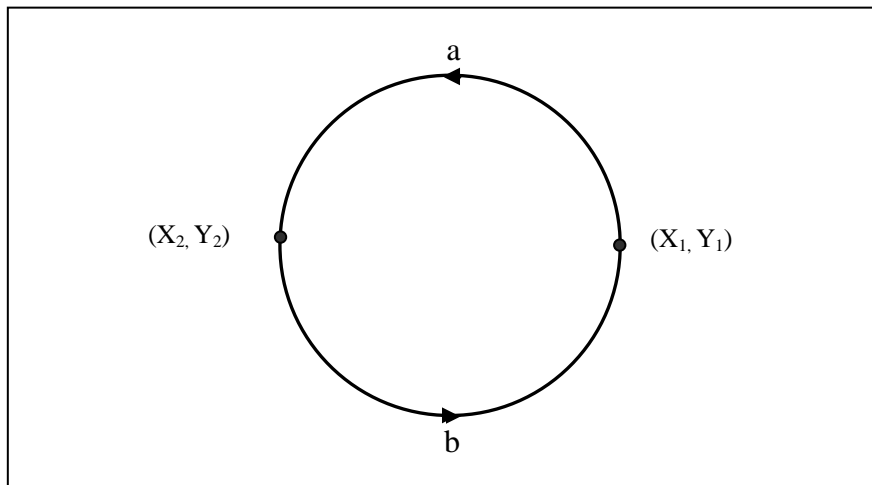
Perwakilan nilai kebertelusan adalah sebagaimana berikut:

2 : dinding perspeks

3 : gas

4 : minyak

### 3.1.1 Geometri Aliran Paip Kosong dan Paip Penuh (Homogen)



**Rajah 3.2** : Rajah skematik geometri aliran homogen

Untuk menghasilkan regim aliran homogen, ia melibatkan dua segmen iaitu segmen -a dan segmen -b seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3.2. Format pembentukan regim aliran ini adalah sebagaimana berikut:

Segmen -a = [1  $X_1$   $X_2$   $Y_1$   $Y_2$  domain kiri domain kanan  $X_c$   $Y_c$   $R$  ]

Segmen -b = [1  $X_2$   $X_1$   $Y_2$   $Y_1$  domain kiri domain kanan  $X_c$   $Y_c$   $R$  ]

Berdasarkan Rajah 3.2 di atas, untuk membina satu lengkungan separa bulat, nilai  $N$  dalam format penghasilan segmen ditetapkan kepada nilai **1**. Dengan itu segmen -a akan membentuk satu lengkungan separa bulat bermula dari titik koordinat  $(X_1, Y_1)$  dan berakhir pada titik koordinat  $(X_2, Y_2)$  dalam arah lawan jam. Segmen -b pula sama seperti

segmen -a turut akan membentuk satu lengkungs separa bulat tetapi bermula dari titik koordinat  $(X_2, Y_2)$  dan berakhir pada titik koordinat  $(X_1, Y_1)$  dalam arah lawan jam. Maka dengan ini, terhasilah satu bulatan lengkap yang mewakili satu bentuk dinding paip.

Untuk menghasilkan satu paip kosong, maka nilai domain kiri adalah diwakilkan dengan nilai **3** bagi kedua-dua segmen -a dan -b untuk menunjukkan bahawa kandungan dalam saluran paip adalah dipenuhi oleh gas. Manakala domain kanan pula ditetapkan dengan nilai **2** mewakili perspeks menunjukkan bahagian dalam dinding paip. Geometri paip kosong dinyatakan sebagai:

$$\text{Segmen -a} = [1 \quad X_1 \quad X_2 \quad Y_1 \quad Y_2 \quad \mathbf{3} \quad \mathbf{2} \quad X_c \quad Y_c \quad R]$$

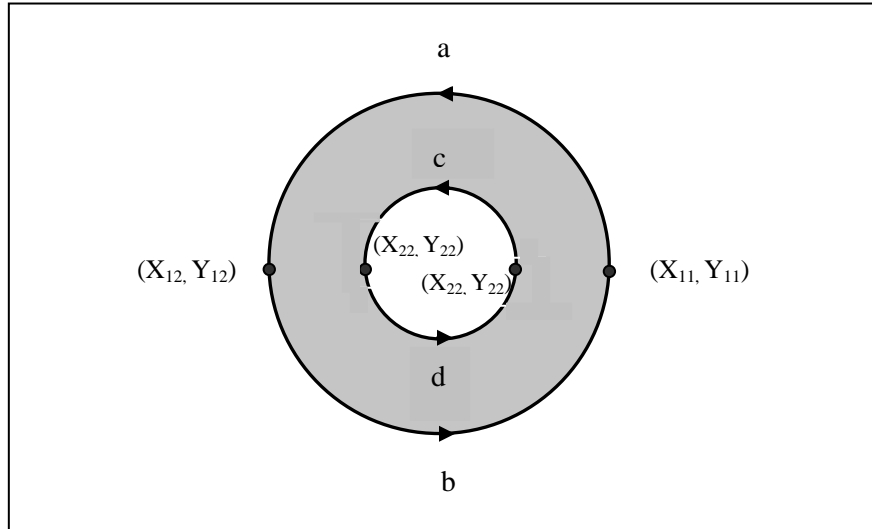
$$\text{Segmen -b} = [1 \quad X_2 \quad X_1 \quad Y_2 \quad Y_1 \quad \mathbf{3} \quad \mathbf{2} \quad X_c \quad Y_c \quad R]$$

Bagi regim aliran paip penuh, yang berubah hanyalah nilai domain kiri sahaja. Nilai domain kanan adalah sama seperti aliran paip kosong. Di sini nilai domain kiri bagi kedua-dua segmen -a dan -b akan bernilai **4** bagi mewakili nilai kebertelusan minyak. Dengan ini aliran dalam paip hanya akan mengandungi komponen minyak sahaja. Regim aliran ini diringkaskan sebagaimana berikut:

$$\text{Segmen -a} = [1 \quad X_1 \quad X_2 \quad Y_1 \quad Y_2 \quad \mathbf{4} \quad \mathbf{2} \quad X_c \quad Y_c \quad R]$$

$$\text{Segmen -b} = [1 \quad X_2 \quad X_1 \quad Y_2 \quad Y_1 \quad \mathbf{4} \quad \mathbf{2} \quad X_c \quad Y_c \quad R]$$

### 3.1.2 Geometri Aliran Anulus



**Rajah 3.3 :** Rajah skematik geometri aliran anulus

Empat segmen iaitu segmen -a, segmen -b, segmen -c, dan segmen -d diperlukan untuk membentuk satu regim aliran anulus. Format keempat-empat segmen adalah sebagaimana berikut:

Segmen -a = [ 1 X<sub>11</sub> X<sub>12</sub> Y<sub>11</sub> Y<sub>12</sub> domain kiri domain kanan X<sub>c</sub> Y<sub>c</sub> R ]

Segmen -b = [ 1 X<sub>12</sub> X<sub>11</sub> Y<sub>12</sub> Y<sub>11</sub> domain kiri domain kanan X<sub>c</sub> Y<sub>c</sub> R ]

Segmen -c = [ 1 X<sub>21</sub> X<sub>22</sub> Y<sub>21</sub> Y<sub>22</sub> domain kiri domain kanan X<sub>c</sub> Y<sub>c</sub> R ]

Segmen -d = [ 1 X<sub>22</sub> X<sub>21</sub> Y<sub>22</sub> Y<sub>21</sub> domain kiri domain kanan X<sub>c</sub> Y<sub>c</sub> R ]

Bagi regim aliran anulus seperti dalam Rajah 3.3, komponen gas akan berada di tengah-tengah saluran paip dan akan dikelilingi oleh komponen minyak. Bagi membentuk corak aliran seperti ini, segmen -a akan membentuk lengkungan separa bulat dalam arah lawan jam bermula dari titik koordinat (X<sub>11</sub>, Y<sub>11</sub>) dan akan berakhir pada titik koordinat (X<sub>12</sub>, Y<sub>12</sub>). Domain kiri bagi segmen -a adalah komponen minyak dan di tandakan dengan nilai **4** manakala dinding perspeks pada domain sebelah kanan pula ditandakan dengan nilai

2. Segmen -b akan pula akan menghasilkan satu dinding paip yang lengkap dengan membentuk lengkungan separa bulat bermula dari titik koordinat  $(X_{12}, Y_{12})$  sehingga titik koordinat  $(X_{11}, Y_{11})$  juga dalam arah lawan jam. Nilai domain kiri dan domain kanan untuk segmen -b adalah sama sebagaimana nilai yang ditetapkan kepada domain kiri dan domain kanan untuk segmen -a.

Gabungan segmen -c dan segmen -d pula akan menghasilkan satu bentuk bulatan lengkap yang akan berada di dalam bulatan yang dihasilkan oleh gabungan segmen -a dan segmen -b sebelum ini. Nilai domain kiri untuk kedua-dua segmen ini diwakili dengan nilai **3** untuk menunjukkan komponen gas berada pada bahagian dalam bulatan manakala domain kanan pula diwakili dengan nilai **4** menunjukkan kehadiran komponen minyak di bahagian luar bulatan. Format bagi regim aliran anulus diringkaskan seperti berikut:

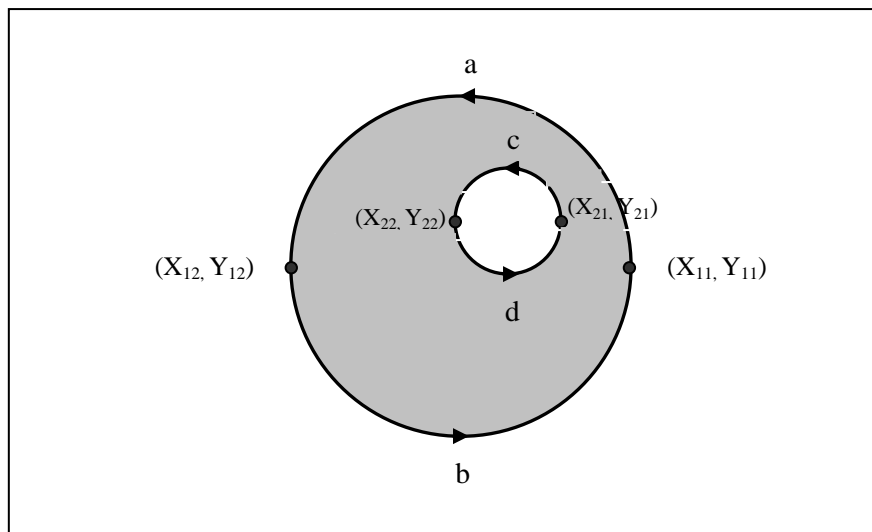
Segmen -a = [ 1  $X_{11}$   $X_{12}$   $Y_{11}$   $Y_{12}$  **3** **2**  $X_c$   $Y_c$  R]

Segmen -b = [ 1  $X_{12}$   $X_{11}$   $Y_{12}$   $Y_{11}$  **3** **2**  $X_c$   $Y_c$  R]

Segmen -c = [ 1  $X_{21}$   $X_{22}$   $Y_{21}$   $Y_{22}$  **4** **3**  $X_c$   $Y_c$  R]

Segmen -d = [ 1  $X_{22}$   $X_{21}$   $Y_{22}$   $Y_{21}$  **4** **3**  $X_c$   $Y_c$  R]

### 3.1.3 Geometri Aliran Gelembung



**Rajah 3.4** : Rajah skematik geometri aliran gelembung