

**DETEKSI DINI OSTEOPOROSIS MELALUI ANATOMIC INDEX
CITRA DENTAL PANORAMIC RADIOGRAPH PADA AREA
TULANG MANDIBULA MENGGUNAKAN METODE
ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM
(ANFIS)**

SKRIPSI

oleh :

**ALIFUDDIN WACHID
NIM. 09650153**



**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2013**

**DETEKSI DINI OSTEOPOROSIS MELALUI ANATOMIC INDEX
CITRA DENTAL PANORAMIC RADIOGRAPH PADA AREA TULANG
MANDIBULA MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY
INFERERENCE SYSTEM (ANFIS)**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)**

**oleh :
ALIFUDDIN WACHID
NIM. 09650153**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2013**

**DETEKSI DINI OSTEOPOROSIS MELALUI ANATOMIC INDEX
CITRA DENTAL PANORAMIC RADIOGRAPH PADA AREA TULANG
MANDIBULA MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY
INFERERENCE SYSTEM (ANFIS)**

SKRIPSI

Oleh :

Nama : Alifuddin Wachid
NIM : 09650153
Jurusan : Teknik Informatika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Telah Disetujui, Juli 2013

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Fatchurrohman, M.Kom
NIP. 197007312005011002

Zainal Abidin, M.Kom
NIP. 197606132005011004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Ririen Kusumawati, S.Si, M.Kom
NIP. 19720309 200501 2 002

**DETEKSI DINI OSTEOPOROSIS MELALUI ANATOMIC INDEX
CITRA DENTAL PANORAMIC RADIOGRAPH PADA AREA TULANG
MANDIBULA MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE NEURO-FUZZY
INFERENCE SYSTEM (ANFIS)**

SKRIPSI

Oleh:
ALIFUDDIN WACHID
NIM. 09650153

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Pengaji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Tanggal, 10 Juli 2013

Susunan Dewan Pengaji	Tanda Tangan
1. Pengaji Utama: <u>Irwan Budi Santoso, M.Kom</u> NIP. 19770103 201101 1 004	()
2. Ketua : <u>Dr. Cahyo Crysdayan</u> NIP. 19740424 200901 1 008	()
3. Sekretaris : <u>Fatchurrochman, M.Kom</u> NIP. 19700731 200501 1 002	()
4. Anggota : <u>Zainal Abidin, M.Kom</u> NIP. 19760613 200501 1 004	()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Ririen Kusumawati, M. Kom
NIP. 19720309 200501 2 002

**SURAT PERNYATAAN
ORISINALITAS PENELITIAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Alifuddin Wachid
NIM : 09650153
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Penelitian : Deteksi Dini Osteoporosis Melalui Anatomic Index
Citra Dental Panoramic Radiograph Pada Area Tulang Mandibula Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 4 Juli 2013

Yang Membuat Pernyataan,

Alifuddin Wachid

09650153

PERSEMBAHAN



Saya persembahkan karya ini kepada :

Allah SWT

yang telah melancarkan segala hal yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

Bapak dan almarhumah ibu

yang telah membimbing dan mencurahkan kasih sayangnya selama ini

Kakak-kakak dan adikku

yang selalu memberikan bantuan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini

Kawan-kawan tim osteo

yang selalu ada untuk berdiskusi dan sharing tentang tugas akhir ini

Kawan-kawan TI angkatan 2009, khususnya dari kelas E, kakak dan adik angkatan, serta dosen-dosen dan mbak admin yang turut membantu kelancaran tugas akhir ini

Kawan-kawan alumni Pesma Al-Hijrah khususnya yang ada di Gajayana 662 yang membuat suasana kontrakan seperti berada di rumah sendiri

Semoga kita senantiasa menjadi hamba yang bersyukur, bermanfaat untuk diri sendiri dan orang lain, diberkahi, dan dirahmati oleh Allah SWT ...

Aamiin...

MOTTO



KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah serta karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Deteksi Dini Osteoporosis melalui Anatomic Index Citra Dental Panoramic Radiograph pada Area Tulang Mandibula Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)” dengan sebaik-baiknya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Informatika jenjang Strata-1 Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

Shalawat serta salam semoga senantiasa Allah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan ahlinya yang telah membimbing umat menuju kebahagiaan dunia dan akhirat.

Penulis menyadari adanya banyak keterbatasan yang penulis miliki, sehingga ada banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materiil dalam menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu dengan segenap kerendahan hati patutlah penulis menyampaikan doa dan mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. DR. H. Mudjia Rahardjo, M.Si, selaku rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Hj. Bayyinatul Muchtaromah., drh., M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Ririen Kusumawati, M.Kom selaku ketua jurusan Teknik Informatika

Fakultas Saintek UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Pak Fatchurrohman, M.Kom dan Pak Zainal Abidin, M.Kom selaku dosen pembimbing I dan II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam pengerajan skripsi ini.
5. Teman-teman tim osteo yang selalu ada untuk sharing dan berdiskusi mengenai penelitian skripsi ini.
6. Segenap civitas akademika Jurusan Teknik Informatika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas segenap ilmu dan bimbungannya.
7. Seluruh keluarga besar di Ponorogo dan di Malang yang senantiasa memberikan doa dan restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu serta dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu-persatu, atas segala yang telah diberikan, penulis ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Sebagai penutup, penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, untuk itu penulis selalu menerima segala kritik dan saran dari pembaca. Harapan penulis, semoga karya ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin..

Malang, 4 Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah	7
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	8
1.6 Metode Penelitian	8
1.7 Sistematika Penulisan	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Osteoporosis	12
2.1.1 Osteoporosis Primer	13
2.1.2 Osteoporosis Sekunder	14
2.1.3 Faktor resiko yang tidak dapat dimodifikasi	14
2.1.4 Faktor resiko yang dapat dimodifikasi	17

2.2 Dental Panoramic Radiograph (DPR)	19
2.3 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)	20
2.3.1 Arsitektur ANFIS	22
2.3.2 Algoritma Belajar Hibrida	24
2.3.2.1 LSE Rekursif	25
2.3.2.2 Model Propagasi Error	28
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Data Penelitian	36
3.1.1 Data Training	39
3.1.2 Data Testing	40
3.2 Skenario Penelitian	41
3.3 Pembuatan Aplikasi	49
3.3.1 Desain Input	49
3.3.2 Desain Output	49
3.3.3 Desain Proses	49
3.3.3.1 Pembentukan Fungsi Keanggotaan	49
3.3.3.2 Perhitungan ANFIS	54
3.3.4 Desain Database	74
3.3.5 Desain Interface	76
3.3.5.1 Form Training	77
3.3.5.2 Form Testing	78
3.3.5.3 Form Bantuan	78
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	81
4.1 Lingkungan Implementasi	81
4.2 Hasil Output Program	81
4.3 Evaluasi Program	84
4.4 Integrasi Deteksi Osteoporosis dengan Islam	86

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
5.1 Kesimpulan	88
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Resiko patah tulang akibat osteoporosis berdasarkan umur	3
Gambar 2.1 Masa Klimaterium	16
Gambar 2.2 Dental Panoramic Radiograph	20
Gambar 2.3 Arsitektur ANFIS dengan 2 input (x dan y) dan 1 output (z)	22
Gambar 2.4 Blok Diagram Alur Mundur ANFIS	28
Gambar 3.1 Lebar ramus pada bagian atas tulang mandibula	42
Gambar 3.2 Tinggi body dari ramus pada tulang mandibula	42
Gambar 3.3 Garis VA,VH, VF, Va,Vh, dan Vf	43
Gambar 3.4 Mental Index (MI) dan jarak (h) antara foramen mentale ke tepi tulang mandibula	43
Gambar 3.5 Blok diagram desain sistem aplikasi	45
Gambar 3.6 Blok Diagram Training ANFIS	47
Gambar 3.7 Blok Diagram Testing ANFIS	48
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan pf/Ra	51
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan VH/Vh	51
Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan VF/Vf	52
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan MI	53
Gambar 3.12 Arsitektur Jaringan ANFIS dengan 4 input, 16 rule, dan 1 output	54
Gambar 3.13 Form training	77
Gambar 3.14 Form testing	78
Gambar 3.14 Form bantuan cara penggunaan aplikasi	79
Gambar 3.15 Form info bagian citra DPR yang digunakan	79
Gambar 3.16 Info pembuat program	80
Gambar 4.1 Output hasil training ANFIS	82
Gambar 4.2 Output hasil testing ANFIS	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penggolongan faktor resiko osteoporosis yang dapat dimodifikasi..	19
Tabel 3.1 Hasil korelasi anatomic index dan BMD	38
Tabel 3.2 Data yang digunakan dalam proses training	39
Tabel 3.3 Data yang digunakan dalam proses testing	40
Tabel 3.4 Nilai a dan c	53
Tabel 3.5 Data input	55
Tabel 3.6 Hasil perhitungan lapisan 1	57
Tabel 3.7 Nilai parameter konsekuensi	60
Tabel 3.8 Output lapisan 5	63
Tabel 3.9 Nilai error lapisan 5	64
Tabel 3.10 Hasil Perhitungan Error Lapisan ke-1	69
Tabel 3.11 Output layer 5	74
Tabel 3.12 Tabel anatomic index	74
Tabel 3.13 Tabel premis	75
Tabel 3.14 Tabel konsekuensi	76
Tabel 3.15 Tabel temp_test	76
Tabel 4.1 Perbandingan target dan output pada fase testing	84
Tabel 4.2 Tabel ketergantungan	85
Tabel 4.3 Tabel ketergantungan hasil deteksi osteoporosis	86

ABSTRAK

Wachid, Alifuddin. 2013. **Deteksi Dini Osteoporosis Melalui Anatomic Index Citra Dental Panoramic Radiograph Pada Area Tulang Mandibula Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)**. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Pembimbing: (I) Fatchurrohman, M.Kom (II) Zainal Abidin, M.Kom

Kata kunci: Osteoporosis, *Dental Panoramic Radiograph*, ANFIS

Osteoporosis adalah suatu penyakit yang ditandai dengan berkurangnya massa tulang dan adanya perubahan mikro-arsitektur jaringan tulang yang berakibat menurunnya kekuatan tulang dan meningkatnya kerapuhan tulang, sehingga tulang mudah patah. Osteoporosis akut dapat mengakibatkan patah tulang pada tulang pinggul, tulang belakang, pergelangan tangan serta menyebabkan kerusakan atau pengereposan pada tulang rahang. Diantaranya adalah penipisan korteks mandibula, kepadatan tulang mandibula yang rendah, serta bertambahnya jumlah gigi yang tanggal dikarenakan tulang rahang yang sudah tidak padat lagi.

Penelitian dilakukan untuk membuat suatu aplikasi yang dapat mendeteksi penyakit osteoporosis berdasarkan hasil pengukuran anatomic index dari citra *Dental Panoramic Radiograph*. Penelitian dilakukan dalam dua tahapan, yaitu tahap pengukuran anatomic index, dan tahap pembelajaran ANFIS.

Aplikasi deteksi osteoporosis melalui anatomic index citra *dental panoramic radiograph* pada area tulang mandibula menggunakan metode ANFIS ini dapat mendeteksi osteoporosis dengan nilai precision sebesar 0,7778 atau 77,78%, nilai recall sebesar 0,8235 atau 82,35%, dan nilai accuracy sebesar 0,6956 atau 69,56%.

ABSTRACT

Wachid, Alifuddin. 2013. **Early Detection of Osteoporosis through Anatomic Index from Dental Panoramic Radiograph Image on Mandibular Bone Area using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)** . Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang, Advicer: (I) Fatchurrohman, M.Kom (II) Zainal Abidin, M.Kom

Keywords: Osteoporosis, Dental Panoramic Radiograph, ANFIS

Osteoporosis is a disease characterized by reduced bone mass and micro-architectural changes in bone tissue resulting in decreased bone strength and increased bone fragility, so easily broken bones. Osteoporosis can lead to acute bone fractures in the hip, spine, wrist and cause damage or loss in the jaw bone. Among them is the thinning of the cortex of the mandible, mandibular bone density is low, and the increase in the number of teeth on the jaw due to decreased bone density.

This study was conducted to create an application that can detect the osteoporosis based on the measurement of anatomic index of Dental Panoramic Radiograph image. The study was conducted in two stages, the first stage is anatomic index measurement, and the second is ANFIS learning phase.

This osteoporosis detection applications through anatomic index dental panoramic radiograph image on mandibular bone area using ANFIS method can detect osteoporosis with precision value of 0.7778 or 77.78%, recall value of 0.8235 or 82.35%, and accuracy values of 0.6956 or 69.56%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tubuh manusia tersusun dari tulang-tulang yang saling berkesinambungan dan saling mendukung satu sama lain. Tulang berfungsi untuk menopang tubuh manusia dan melindungi organ-organ tubuh serta menjadi tempat melekatnya otot-otot yang menggerakkan tubuh manusia. Tulang mulai terbentuk sejak manusia masih berada di dalam kandungan ibunya dan akan berkembang menjadi susunan tulang yang kompleks pada saat tumbuh dewasa. Allah SWT. telah menjelaskan proses penciptaan manusia tersebut secara detail di dalam Al-Qur'an, yaitu pada Q.S. Al-Mukminun ayat 12-14 :

وَلَقَدْ خَلَقْنَا إِلْهَانَ مِنْ سُلَالَةٍ مِنْ طِينٍ ﴿١٢﴾ ثُمَّ جَعَلْنَاهُ نُطْفَةً فِي قَرَارِ
مَكِينٍ ﴿١٣﴾ ثُمَّ خَلَقْنَا النُّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا الْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا الْمُضْغَةَ عِظَامًا
فَكَسَوْنَا الْعِظَامَ لَحْمًا ثُمَّ أَنْشَأْنَاهُ خَلْقًا آخَرَ فَتَبَارَكَ اللَّهُ أَحْسَنُ الْخَالِقِينَ ﴿١٤﴾

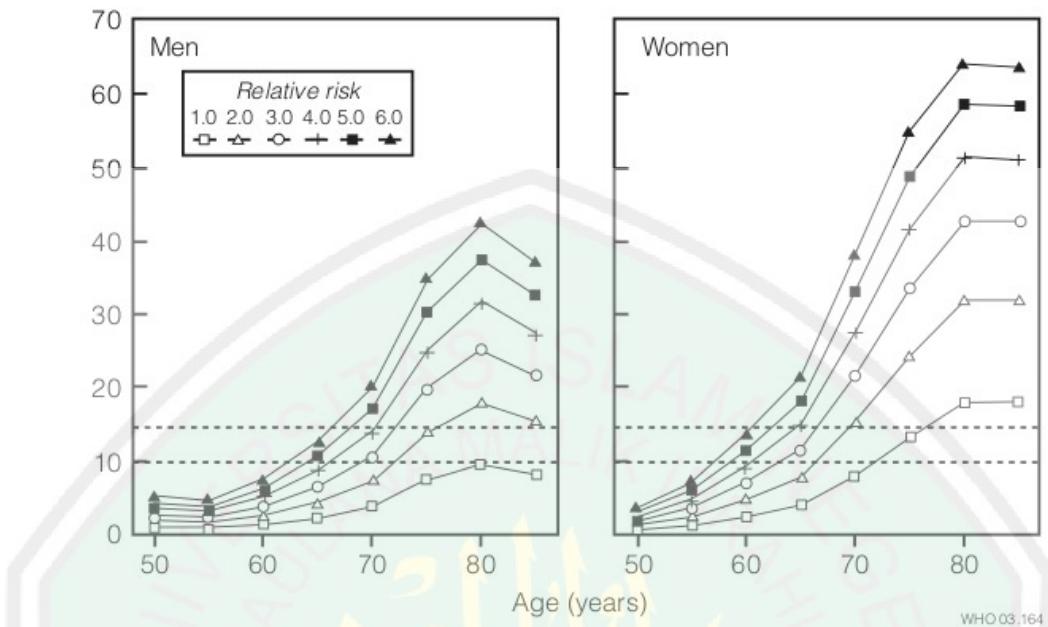
"Dan sesungguhnya Kami telah menciptakan manusia dari suatu saripati (berasal) dari tanah. Kemudian Kami jadikan saripati itu air mani (yang disimpan) dalam tempat yang kokoh (rahim). Kemudian air mani itu Kami jadikan segumpal darah, lalu segumpal darah itu Kami jadikan segumpal daging, dan segumpal daging itu Kami jadikan tulang belulang, lalu tulang belulang itu Kami bungkus dengan daging. Kemudian Kami jadikan dia makhluk yang (berbentuk) lain. Maka Maha Suci lah Allah, Pencipta Yang Paling Baik." (Q.S. Al-Mukminun : 12-14)

Kemudian seiring bertambahnya usia, secara biologis kualitas tubuh dan tulang manusia semakin menurun. Salah satu penyakit yang sering diderita oleh manusia yang telah berusia lanjut adalah osteoporosis. Osteoporosis adalah suatu

penyakit yang ditandai dengan berkurangnya massa tulang dan adanya perubahan mikro-arsitektur jaringan tulang yang berakibat menurunnya kekuatan tulang dan meningkatnya kerapuhan tulang, sehingga tulang mudah patah. Kelainan tulang ini sering disebut sebagai *silent killer disease* karena tidak tampak gejala yang jelas dan baru terasa ketika penderita mengalami masalah pada tulangnya. (Kemenkes, 2008).

Osteoporosis telah diderita oleh 75 juta orang di Eropa, Jepang, dan Amerika Serikat serta menyebabkan lebih dari 8,9 juta orang patah tulang di seluruh dunia, dan lebih dari 4,5 juta kasus terjadi di Eropa dan Amerika Serikat setiap tahunnya (WHO, 2007). Osteoporosis bisa menyerang laki-laki dan perempuan, akan tetapi penderita osteoporosis kebanyakan adalah perempuan yang telah mengalami masa menopause (Wirakusumah, 2007).

Diantara satu dari tiga orang perempuan dan satu dari lima orang laki-laki di atas 50 tahun akan mengalami osteoporosis dan berisiko mengalami patah tulang (Purwoastuti, 2009). Semakin tua penderita osteoporosis memiliki resiko patah tulang yang semakin besar. Pada gambar 1.1 terlihat bahwa persentase resiko patah tulang pada penderita osteoporosis meningkat secara signifikan pada usia 60 tahun ke atas. Penderita perempuan memiliki resiko hampir dua kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan penderita laki-laki dan mengalami peningkatan resiko patah tulang hingga empat kali lipat jika dibandingkan resiko patah tulang akibat osteoporosis pada usia 40 tahun (WHO, 2003).



Gambar 1.1 : Resiko patah tulang akibat osteoporosis berdasarkan umur.
(Sumber : WHO, 2003)

Dari data yang diambil oleh National Health and Nutrition Examination Survey pada tahun 2005-2008 di Amerika Serikat, peningkatan jumlah penderita massa tulang rendah berkisar antara 32% - 60% pada pria dan 54% - 67% pada wanita. Pada pria, jumlah penderita massa tulang rendah tidak meningkat sampai usia 70 tahun, setelah itu meningkat cukup signifikan hingga 70%. Sedangkan pada wanita, jumlah penderita massa tulang yang rendah meningkat sampai usia 70 tahun, setelah itu stabil (Lokker dkk, 2012).

Analisa data resiko osteoporosis juga dilakukan di Indonesia pada tahun 2005 dengan jumlah sampel 65.727 orang (22.799 laki-laki dan 42.928 perempuan). Analisa ini dilakukan oleh Puslitbang Gizi Depkes RI yang bekerjasama dengan sebuah perusahaan nutrisi di beberapa wilayah di Indonesia yaitu NAD, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kepulauan Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bangka Belitung, Bengkulu, Lampung, DKI Jakarta, Banten,

Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Bali, NTB, NTT, Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Papua. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode pemeriksaan densitas mineral tulang (*Bone Mineral Density, BMD*) atau kerapatan massa tulang menggunakan alat *diagnostik clinical bone sonometer* dan menunjukkan angka osteopenia (osteoporosis dini) sebesar 41,7% dan angka osteoporosis sebesar 10,3%. Hal ini menunjukkan dua dari lima orang penduduk Indonesia beresiko terkena osteoporosis, dimana hampir separuh (41,2%) dari sampel yang berusia kurang dari 55 tahun terdeteksi menderita osteopenia. (Kemenkes, 2008).

Osteoporosis akut dapat mengakibatkan patah tulang pada tulang pinggul, tulang belakang, pergelangan tangan maupun bagian tulang tubuh lainnya. (White, 2005). Osteoporosis juga dapat menyebabkan kerusakan atau pengerosan pada tulang rahang. Diantaranya adalah penipisan korteks mandibula, kepadatan tulang mandibula yang rendah, serta bertambahnya jumlah gigi yang tanggal dikarenakan tulang rahang yang sudah tidak padat lagi. (Kemenkes, 2008).

Rasulullah bersabda untuk merebut lima hal sebelum datangnya lima hal lainnya dalam hadist yang diriwayatkan oleh Baihaqi dan Ibnu Abbas berikut ini :

إِغْتِنِمْ خَمْسًا قَبْلَ خَمْسٍ : حَيَاكَ قَبْلَ مَوْتَكَ، وَصِحَّتَكَ قَبْلَ سُقْمِكَ، وَفَرَغَكَ قَبْلَ شُغْلِكَ، وَشَبَابَكَ قَبْلَ هَرَمَكَ وَغِنَاكَ قَبْلَ فَقْرِكَ (رواه البيهقي عن أبي عباس)

“Rebutlah lima sebelum datang lima : hidup sebelum mati, kesehatan sebelum sakit, waktu terluang sebelum kesibukan, muda sebelum usia tua dan kekayaan sebelum miskin.” (Diriwayatkan oleh Baihaqi dan Ibnu Abas)

Dua diantara kelima pesan tersebut adalah merebut waktu sehat sebelum sakit dan waktu muda sebelum tua. Pesan tersebut menunjukkan bahwa Rasulullah SAW menyuruh umatnya untuk menjaga kesehatannya dan memanfaatkan masa mudanya dengan sebaik-baiknya.

Salah satu bentuk untuk merebut waktu sehat sebelum sakit adalah dengan memelihara kesehatan dan segera berobat bila menderita sakit. Pemeriksaan kesehatan secara rutin juga diperlukan agar penyakit dapat terdeteksi lebih dini. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu cara untuk melakukan pendekstian suatu penyakit lebih dini sehingga dapat segera dilakukan tindakan medis untuk menyembuhkan penderita.

Beberapa penelitian menemukan cara untuk mendekripsi dini osteoporosis, salah satunya adalah dengan melakukan pengukuran jarak kortikal mandibula pada citra *Dental Panoramic Radiograph*. Oleh karena itu pengukuran jarak kortikal mandibula yang dilakukan secara otomatis dapat membantu pengidentifikasi penderita osteoporosis lebih awal sehingga dapat dilakukan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko dari penyakit ini (Taguchi dkk, 2005).

Penelitian yang lain melakukan pengembangan sistem komputer untuk pengukuran lebar dari kortikal mandibula melalui komputer (Agus Zainal Arifin dkk, 2005). Sebuah penelitian juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tulang mandibula dan osteoporosis. Penelitian tersebut membandingkan perempuan yang terkena osteoporosis dan yang tidak terkena osteoporosis, dan menemukan bahwa kepadatan tulang mandibula pada perempuan yang terkena

osteoporosis lebih rendah jika dibandingkan dengan perempuan normal (M Bozic dan N Ihan Hren, 2005).

Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa *anatomic index* dari penelitian sebelumnya, yaitu *Mental Index* dan *Panoramic Mandibular Index*, lebar ramus, tinggi bodi ramus, serta area di bawah *mandibular canal* dan *foramen mentale*. Penelitian ini menggabungkan keempat *anatomic index* tersebut untuk melakukan pendeksiostisian osteoporosis. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keseluruhan kualitas tulang rahang dari data yang diuji.

Nilai *anatomic index* pada data DPR ini tidak bisa dipastikan nilainya karena perbedaan struktur rahang dari tiap orang yang dijadikan sampel. Oleh karena itu diperlukan sebuah metode yang bisa melakukan pembobotan nilai *anatomic index* tersebut.

Algoritma *neural network* memiliki kelebihan yang mempermudah dalam melakukan pengklasifikasian suatu objek berdasarkan sejumlah aturan yang menjadi masukan sistem. Dengan hanya menggunakan beberapa aturan dan kemudian melakukan pelatihan menggunakan data yang telah dimasukkan, sistem berbasis *neural network* mampu membedakan antara satu objek dengan objek yang lainnya (Duda, dkk., 2001). Bahkan jika sistem tersebut diberikan sejumlah data lain yang tidak pernah digunakan di dalam pelatihan sebelumnya, sistem tetap bisa mengklasifikasikan objek (Fu, 1994) .

Penelitian ini menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*. ANFIS merupakan salah satu sistem *neuro-fuzzy*, yaitu suatu metode yang menggabungkan kelebihan-kelebihan dari sistem fuzzy dan sistem

neural network. Parameter ANFIS dapat dibedakan menjadi 2, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan hybrid. Pelatihan hybrid dilakukan dua langkah yaitu langkah maju dan langkah balik (Sri, 2005).

ANFIS menggunakan algoritma pembelajaran hybrid yang mengkombinasikan *Least-Squares Estimator* dan metode *Gradient Descent*. Dalam pembelajaran langkah maju, sekumpulan data training diinputkan ke dalam sistem ANFIS. Kemudian nilai output dihasilkan berdasarkan perhitungan dari tiap layer dan nilai parameter konsekuensi diahsilkan melalui *least-squares estimator*. Sedangkan pada langkah balik menggunakan algoritma *backpropagation*, sinyal-sinyal error dikirimkan kembali dan meng-update nilai parameter-parameter sebelumnya (Negnevitsky , 2002).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan suatu sistem komputer otomatis yang dapat mendeteksi dini penyakit osteoporosis melalui *Anatomic Index* dari citra *Dental Panoramic Radiograph* pada area tulang mandibula dengan menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Anatomic Index yang digunakan adalah 6 *anatomic index* dari jurnal Bozic & N. I. Hren (2005), 1 anatomic index (*mandibular cortical width/mental index*)

dari jurnal Taguchi dkk. (2005), dan 1 anatomic index (*panoramic mandibular index*) dari jurnal Gulsahi dkk. (2010).

2. Citra yang digunakan adalah citra *Dental Panoramic Radiograph* pada area tulang mandibula yang dicetak sesuai ukuran aslinya.
3. Pengukuran lebar/tinggi *anatomic index* dilakukan manual dengan menggunakan penggaris.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sebuah sistem komputer yang dapat mendeteksi dini penyakit osteoporosis secara otomatis melalui *Anatomic Index* dari citra *Dental Panoramic Radiograph* pada area tulang mandibula menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dapat terdeteksinya osteoporosis lebih awal, sehingga dapat mengurangi resiko patah tulang dan kematian akibat keterlambatan penanganan penderita osteoporosis.

1.6 Metode Penelitian

Peneliti membagi proses penelitian ini menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan berbagai pengumpulan informasi terkait beberapa hal berikut :

- a. Pengumpulan data citra DPR (*Dental Panoramic Radiograph*).
 - b. Melakukan pengukuran anatomic index dari citra *Dental Panoramic Radiograph*.
 - c. Pengumpulan informasi penentuan diagnosis osteoporosis berdasarkan kerapatan massa tulang.
 - d. Pengumpulan informasi tentang metode ANFIS (*Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System*) dan pengaplikasianya dalam bahasa pemrograman.
2. Perancangan dan desain aplikasi
- Aplikasi dirancang memiliki dua antarmuka yaitu untuk melakukan training data dan testing data. Data yang diinputkan dalam antarmuka training akan disimpan terlebih dahulu di dalam database, kemudian setelah semua data yang digunakan untuk trainig selesai diinputkan data akan dilakukan perhitungan sesuai dengan metode ANFIS. Sedangkan pada antarmuka testing data yang diinputkan hanya dialkuakan perhitungan tanpa disimpan terlebih dahulu di database.
3. Pembuatan aplikasi
- Aplikasi diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman Java dan database MySQL untuk menyimpan data anatomic index yang digunakan dalam pelatihan pembelajaran.
4. Uji coba dan evaluasi
- Uji coba dilakukan setelah pembuatan aplikasi selesai dan melakukan evaluasi kekurangan aplikasi dalam proses deteksi dini osteoporosis berdasarkan dari nilai *anatomic index* yang dimasukkan sehingga bisa dilakukan perbaikan.

5. Penyusunan laporan

Laporan akhir disusun untuk mendokumentasikan seluruh kegiatan penelitian ini, mulai dari tahap pengumpulan data *Dental Panoramic Radiograph*, pengukuran anatomic index, implementasi metode ANFIS dalam aplikasi, hingga uji coba dan evaluasi program. Hal ini dilakukan agar dapat dimanfaatkan bagi penelitian lebih lanjut.

1.7 Sistematika Penulisan

1. Bab I Pendahuluan

Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan skripsi.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang osteoporosis, penyebab osteoporosis, faktor resiko osteoporosis, baik itu yang bisa dirubah maupun yang tidak bisa dirubah. Selain menjelaskan tentang osteoporosis bab ini juga menjelaskan tentang *Dental Panoramic Radiograph* serta metode ANFIS mulai dari pengertian, arsitektur, hingga algoritma belajar hibrida.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menerangkan langkah-langkah penelitian, perancangan sistem yang akan dibuat, langkah pembuatan aplikasi dan perhitungan manual data menggunakan metode ANFIS.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini memuat implementasi ANFIS pada program, perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, hasil output program, evaluasi program deteksi osteoporosis menggunakan ANFIS ini, dan integrasi deteksi osteoporosis dengan islam.

5. Bab V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran terhadap penelitian untuk mendeteksi osteoporosis menggunakan metode ANFIS yang telah dilakukan ini.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Osteoporosis

Osteoporosis merupakan suatu penyakit yang menyebabkan terjadinya perubahan mikro-arsitektur jaringan tulang dan mengakibatkan menurunnya kekuatan tulang sehingga tulang menjadi rapuh dan mudah patah. Dalam arti lain osteoporosis adalah suatu kondisi dimana tulang menjadi rapuh, keropos dan mudah patah yang diakibatkan berkurangnya kepadatan tulang dalam jangka waktu yang lama. Secara statistik, osteoporosis merupakan suatu keadaan tulang dengan nilai Densitas Mineral Tulang (DMT) atau kepadatan mineral tulang berada di bawah nilai standar berdasarkan umur atau standar deviasinya berada di bawah nilai rata-rata pada usia dewasa (Kemenkes, 2008).

Kelainan tulang ini sering disebut sebagai *silent killer disease* karena menyerang secara diam-diam dan tidak tampak gejala yang jelas, osteoporosis biasanya baru terasa ketika penderita mengalami masalah pada tulangnya. Osteoporosis bisa menyerang laki-laki dan perempuan, akan tetapi penderita osteoporosis kebanyakan adalah perempuan yang telah mengalami masa menopause. (Wirakusumah, 2007).

Sebelum terkena osteoporosis, penderita mengalami proses osteopenia terlebih dahulu. Osteopenia merupakan sebuah keadaan hilangnya sebagian massa tulang yang diakibatkan oleh berbagai hal, diantaranya usia, faktor genetik,

maupun gangguan hormonal (Kemenkes, 2008). Menurut penyebabnya, osteoporosis dibagi menjadi dua, yaitu osteoporosis primer dan osteoporosis sekunder.

2.1.1. Osteoporosis Primer

Osteoporosis primer adalah osteoporosis yang tidak disebabkan oleh suatu penyakit atau kelainan. Osteoporosis primer terjadi karena proses alamiah dari dalam tubuh penderita, misal karena terhentinya produksi hormon (khusus perempuan) dan bertambahnya usia menyebabkan berkurangnya massa tulang secara berkelanjutan sehingga terjadilah osteoporosis. Osteoporosis primer terdiri dari dua tipe yaitu :

a. Osteoporosis Primer Tipe I

Osteoporosis primer tipe I ini sering disebut sebagai osteoporosis pasca menopause, karena osteoporosis tipe ini sering terjadi pada wanita pasca menopause. Biasanya terjadi pada wanita berusia 50-65 tahun, fraktur atau patah tulang biasanya terjadi pada vertebra (ruas tulang belakang), iga atau pada tulang radius.

b. Osteoporosis Primer Tipe II

Osteoporosis primer tipe ini disebut dengan istilah osteoporosis senil, yang terjadi pada penderita berusia lanjut. Pasien biasanya berusia lebih dari 70 tahun, pria maupun wanita mempunyai kemungkinan resiko yang sama, patah tulang atau fraktur biasanya terjadi pada tulang paha. Selain fraktur maka gejala yang perlu diwaspadai adalah terjadinya kifosis dorsalis yang

semakin bertambah, makin pendek dan nyeri tulang yang berkepanjangan.

2.1.2. Osteoporosis Sekunder

Osteoporosis sekunder adalah osteoporosis yang disebabkan oleh penyakit maupun faktor-faktor luar yang mempengaruhi terjadinya osteoporosis. Diantaranya berbagai penyakit tulang (chronic rheumatoid, arthritis, tbc spondilitis, osteomalacia, dll), pengobatan menggunakan steroid untuk jangka waktu yang lama, astronot yang bekerja tanpa gaya berat, paralise otot, tidak bergerak dalam waktu lama, hipertiroid, dan lain-lain.

Osteoporosis memiliki beberapa faktor resiko yaitu faktor resiko yang dapat dimodifikasi dan faktor resiko yang tidak dapat dimodifikasi.

2.1.3. Faktor resiko yang tidak dapat dimodifikasi

a. Usia

Usia adalah salah satu dari faktor resiko osteoporosis yang tidak dapat direkayasa. Pada pasien berusia lanjut daya serap kalsium akan menurun seiring dengan bertambahnya usia.

b. Gender

Diperkirakan selama hidupnya, wanita akan kehilangan 30% - 50% dari massa tulangnya, sedangkan pria hanya kehilangan 20%-30% massa tulangnya, namun hal tersebut tidak berarti bahwa semua wanita yang telah mengalami menopause akan mengalami osteoporosis.

c. Genetik

Diperkirakan 80% kepadatan tulang diwariskan secara genetik sehingga dapat diartikan bahwa osteoporosis dapat diturunkan.

d. Gangguan hormonal

- 1) Wanita yang memasuki masa menopause mengalami penurunan jumlah hormon esterogen, sehingga pada umumnya wanita diatas usia 40 tahun lebih banyak terkena osteoporosis dibanding dengan pria.
- 2) Pria yang mengalami defisit testosteron (hormon ini di dalam darah diubah menjadi estrogen).
- 3) Gangguan hormonal lain seperti tiroid, para retiroid, insulin dan glucocorticoid.

e. Perbedaan ras

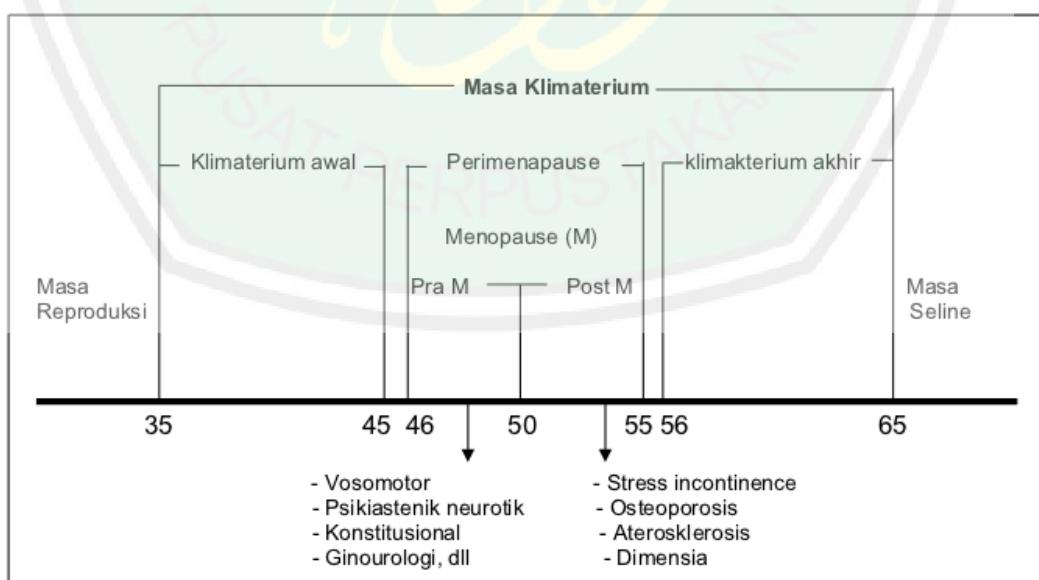
Orang berkulit putih cenderung lebih berisiko terkena osteoporosis dibanding dengan orang berkulit hitam.

Penurunan hormon estrogen secara fisiologis dimulai saat berusia 35 tahun dan berakhir hingga usia 65 tahun disebut masa klimakterium. Masa klimakterium terbagi atas 4 masa seperti yang terlihat pada gambar 2.1, yaitu :

- 1) Masa klimakterium awal usia 35-45 tahun, dengan keluhan-keluhan gangguan haid yang menonjol (kadar estrogen mulai rendah).
- 2) Masa perimenopause usia 46-55 tahun keluhan klinis defisiensi estrogen pada vasomotor (gejolak panas,vertigo,keringat banyak), konstitusional (berdebar-debar, migrain, nyeri otot/pinggang, dan mudah tersinggung) psikiastenik dan

neurotik (merasa tertekan, lelah psikis, lelah somatik, susah tidur, merasa ketakutan, konflik keluarga, gangguan di tempat kerja), disparemi, fluor albus, lipido menurun, osteoporosis, kenaikan kolesterol, adepositas (kegemukan karena gangguan metabolisme karbohidrat).

- 3) Masa perimenopause dengan kadar estrogen rendah sampai sangat rendah yang terjadi dari :
 - a) Masa premenopause usia 46-50 tahun
 - b) Masa menopause usia 50 (49-51 tahun)
 - c) Masa post menopause 51-55 tahun
- 4) Masa klimakterium akhir usia 56-65 tahun, dengan kadar estrogen sangat rendah sampai tidak ada, dengan keluhan dan ancaman kejadian Alzheimer, aterosklerosis, masalah jantung, fraktur osteoporosis, ancaman Ca colon.



Gambar 2.1 Masa Klimakterium (Sumber : Kemenkes, 2008)

2.1.4. Faktor resiko yang dapat dimodifikasi

a. Imobilitas

Imobilitas dalam waktu yang lama memiliki risiko yang lebih tinggi untuk terkena osteoporosis dibandingkan menopause. Imobilitas akan berakibat pada pengecilan tulang dan pengeluaran kalsium dari tubuh (hiperkalsiuria). Imobilitas umumnya dialami orang yang berada dalam masa penyembuhan yang perlu mengistirahatkan tubuhnya untuk waktu lama.

b. Postur tubuh kurus

Postur tubuh yang kurus cenderung mengalami osteoporosis dibandingkan dengan postur ideal (dengan berat badan ideal), karena dengan postur tubuh yang kurus sangat mempengaruhi tingkat pencapaian massa tulang.

c. Kebiasaan (konsumsi alkohol, kopi, dan rokok yang berlebihan)

Dengan berhenti merokok secara total, membuat esterogen dalam tubuh seseorang tetap beraktifitas dan juga dapat mengeliminasi risiko kehilangan sel pembentuk tulang selama hidup yang mencakup 20%-30% pada pria dan 40%-50% pada wanita. Minuman yang mengandung alkohol, kafein dan soda berpotensi mengurangi penyerapan kalsium ke dalam tubuh, sehingga jenis minuman tersebut dikategorikan sebagai faktor risiko osteoporosis.

d. Asupan gizi rendah

Pola makan yang tidak seimbang yang kurang memperhatikan kandungan gizi, seperti kalsium, fosfor, seng, vitamin B6, C, D, K, serta phytoestrogen (estrogen yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, seperti toge).

e. Kurang terkena sinar matahari

Orang yang jarang terkena sinar matahari, terutama sinar pada pagi dan sore hari, karena pada saat tersebut sinar dibutuhkan untuk memicu kulit membentuk vitamin D3, dimana vitamin D (D3 + D2/berasal dari makanan) di ubah oleh hepar dan ginjal menjadi kalsitriol.

f. Kurang aktifitas fisik

Kurangnya olahraga dan latihan secara teratur, menimbulkan efek negatif yang menghambat proses pemanjangan massa tulang dan kekuatan tulang. Namun olahraga yang sangat berlebih (maraton, atlet) pada usia muda, terutama anak perempuan yang telah haid, akan menyebabkan haidnya terhenti, karena kekurangan estrogen, sehingga penyerapan kalsium berkurang dengan segala akibatnya.

g. Penggunaan obat untuk waktu lama

Pasien osteoporosis sering dikaitkan dengan istirahat total yang terlalu lama akibat sakit, kelainan tulang, kekurangan bahan pembentuk dan yang terutama adalah pemakaian obat yang mengganggu metabolisme tulang. Jenis obat tersebut antara lain kortikosteroid, sitostatika (metotreksat), anti kejang, anti koagulan (heparin, warfarin).

h. Lingkungan

Lingkungan yang berisiko osteoporosis, adalah lingkungan yang memungkinkan orang tidak terkena sinar matahari dalam jangka waktu yang lama seperti daerah padat hunian, apartemen, rumah susun, dan lain-lain.

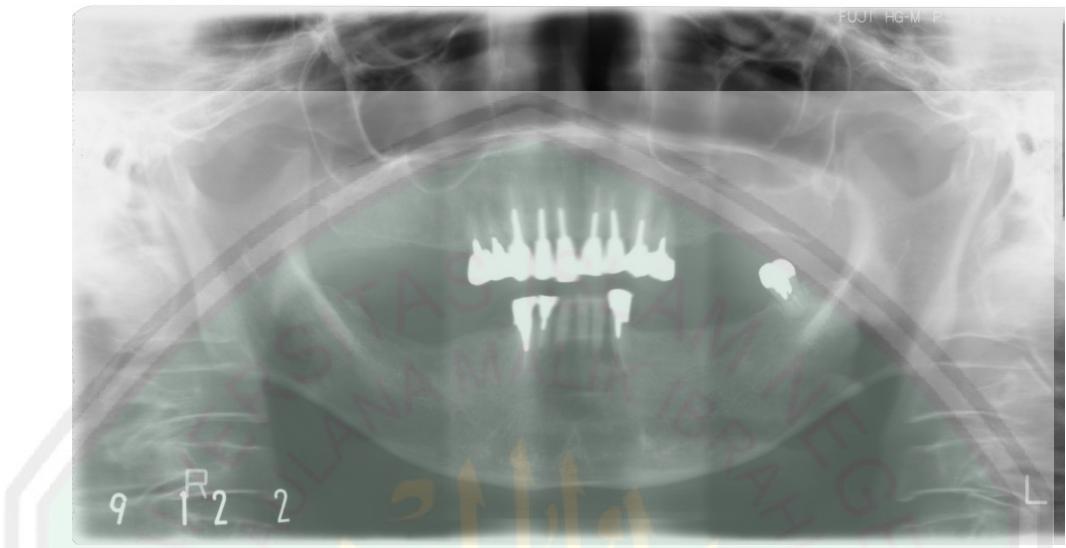
Berikut ini adalah klasifikasi faktor resiko osteoporosis yang dapat dimodifikasi yang menentukan prognosis osteoporosis sekunder (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Penggolongan faktor resiko osteoporosis yang dapat dimodifikasi

No.	Penggolongan	Faktor Resiko
1	Resiko Tinggi	Imobilitas pada Pasien dalam jangka waktu yang lama (anggota gerak yang mengalami kelumpuhan, contoh stroke)
2	Resiko Sedang	Badan yang kurus (BB kurang dari normal) , konsumsi alkohol, penggunaan steroid (suntikan KB) dalam waktu yang lama dan kejadian laktasi amenorhea , penggunaan obat kortison dan obat osteoarthritis (OA) dalam jangka lama
3	Resiko Rendah	Konsumsi rokok/tembakau, kurang aktifitas fisik, kurang konsumsi kalsium.

2.2 Dental Panoramic Radiograph (DPR)

Dental Panoramic Radiograph atau Radiografi Panorama Gigi adalah sebuah teknik radiograf extraoral khusus yang digunakan untuk memeriksa bagian atas dan rahang bawah dalam satu film. DPR juga disebut sebagai pantomografi, dalam teknik film dan tubehead (sumber x-ray) memutar di sekitar pasien yang tetap diam dan menghasilkan serangkaian gambar individu berturut-turut dalam satu film. Gambar-gambar yang telah diambil tersebut digabungkan dalam film sebagai satu keseluruhan tampilan maxilla, mandibula, dan diperolehlah struktur rahangnya seperti yang terlihat pada gambar 2.2. (John, 2008).



Gambar 2.2 Dental Panoramic Radiograph

2.3 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Algoritma *neural network* memiliki kelebihan yang mempermudah dalam melakukan pengklasifikasian suatu objek berdasarkan sejumlah aturan yang menjadi masukan sistem. Dengan hanya menggunakan beberapa aturan dan kemudian melakukan pelatihan menggunakan data yang telah dimasukkan, sistem berbasis *neural network* mampu membedakan antara satu objek dengan objek yang lainnya (Duda, dkk., 2001).

Bahkan jika sistem tersebut diberikan sejumlah data lain yang tidak pernah digunakan di dalam pelatihan sebelumnya, sistem tetap bisa mengklasifikasikan objek. Sistem ini juga mempunyai kelebihan terhadap sistem konvensional yang mencakup (Fu, 1994) :

1. Mampu melakukan akuisisi pengetahuan di bawah derau dan ketidakpastian.
2. Representasi pengetahuan bersifat fleksibel.
3. Pemrosesan pengetahuan dilakukan secara efisien.
4. Toleran terhadap kesalahan.

Pada perkembangan selanjutnya, kelebihan fuzzy logic dan neural network dikombinasikan sehingga muncul sistem neuro-fuzzy. Salah satu sistem neuro-fuzzy yaitu ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

Model fuzzy dapat digunakan untuk menggantikan perceptron dengan banyak lapisan. Sistem tersebut dapat dibagi ke dalam dua bagian, yaitu satu bagian merupakan jaringan syaraf dengan bobot-bobot fuzzy dan fungsi aktifasi fuzzy, sedangkan bagian kedua berupa jaringan syaraf yang memfuzzykan inputan pada lapisan pertama atau kedua, akan tetapi bobot-bobot pada jaringan syaraf tersebut tidak ikut difuzzykan. Sistem neuro fuzzy ini termasuk ke dalam kelompok yang kedua (Kusumadewi, 2006).

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inference fuzzy. Parameter ANFIS dapat dibedakan menjadi 2, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan hybrid. Pelatihan hybrid dilakukan dua langkah yaitu langkah maju dan langkah balik (Sri, 2005).

ANFIS menggunakan algoritma pembelajaran hybrid yang mengkombinasikan *Least-Squares Estimator* dan metode *Gradient Descent*.

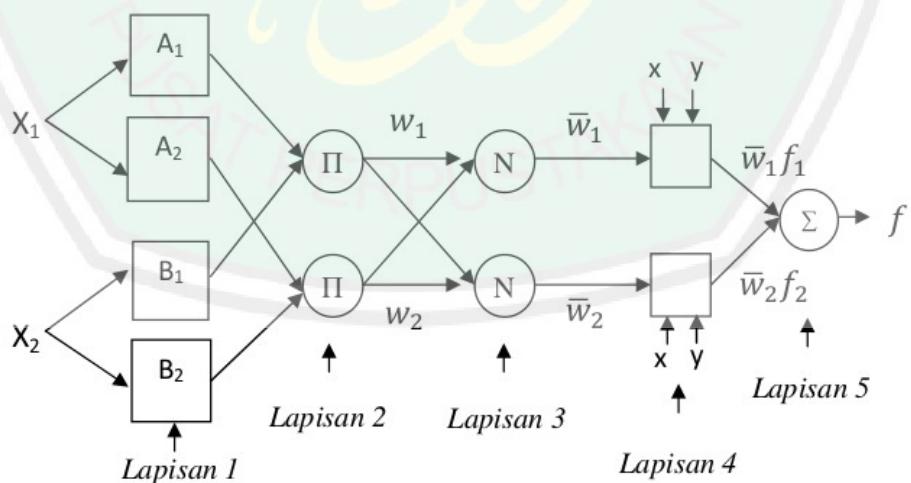
Dalam pembelajaran langkah maju, sekumpulan data training diinputkan ke dalam sistem ANFIS. Kemudian nilai output dihasilkan berdasarkan perhitungan dari tiap layer dan nilai parameter konsekuensi diahsilkan melalui *least-squares estimator*. Sedangkan pada langkah balik menggunakan algoritma *backpropagation*, sinyal-sinyal error dikirimkan kembali dan meng-update nilai parameter-parameter sebelumnya (Negnevitsky , 2002).

2.3.1 Arsitektur ANFIS

Misalkan ada 2 input x , y dan satu output f . Ada dua aturan pada basis aturan model sugeno dengan model gambar jaringan seperti pada gambar 2.3 :

Rule 1 : If x is A_1 and y is B_2 , then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Rule 2 : If x is A_2 and y is B_2 , then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$



Gambar 2.3 Arsitektur ANFIS dengan 2 input (x dan y) dan 1 output (z)

(Sumber : Alavala, 2008)

Jika a predikat untuk kedua aturan yaitu w1 dan w2, maka dapat dihitung rata-rata terbobot :

$$y = \frac{w1 y1 + w2 y2}{w1 + w2} \quad (2.1)$$

a. Layer 1

Setiap node i pada lapisan ini adalah node adaptive dengan sebuah fungsi node. Perhitungan pada layer 1 dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left(\left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i} \right)} \quad (2.2)$$

Dimana $\{ a_i, b_i, c_i \}$ adalah himpunan parameter, bila nilai parameter tersebut berubah, fungsi bell berubah juga dengan sendirinya, kemudian menunjukkan bentuk variasi fungsi keanggotaan untuk himpunan fuzzy A.

b. Layer 2

Setiap node pada lapisan ini merupakan node yang berisi bobot sudah tetap, disimbolkan dengan Π , dimana outputnya adalah hasil dari semua sinyal yang masuk. Setiap node output merepresentasikan kekuatan mengirim dari aturan.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \quad (2.3)$$

c. Layer 3

Tiap-tiap neuron pada lapisan ketiga ini berupa node tetap yang outputnya adalah hasil penghitungan rasio dari a predikat (w), dan dari aturan ke-i terhadap jumlah dari keseluruhan a predikat. Output dari lapisan ketiga ini disebut sebagai

normalized firing strengths.

$$\overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} , i = 1, 2 \quad (2.4)$$

d. Layer 4

Setiap node pada lapisan ini adalah node adaptive dengan fungsi node, \overline{w} dimana adalah kekuatan mengirim yang sudah dinormalisasikan dari lapisan ke-3 dan $\{ p_1, q_1, r_1 \}$ adalah himpunan parameter.

$$\overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i + r_i) \quad (2.5)$$

e. Layer 5

Node tunggal pada lapisan ini adalah node tetap disimbolkan dengan Σ , dimana (memperhitungkan keseluruhan output sebagai hasil akhir dari sinyal yang masuk.

$$overall\ output = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (2.6)$$

2.3.2 Algoritma Belajar Hibrida

Pada saat *premise parameter* ditemukan, output yang terjadi akan merupakan kombinasi linier dari *consequent parameter*, yaitu :

$$y = \frac{w_1}{w_1 + w_2} y_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} y_2 \quad (2.7)$$

$$= \overline{w}_1 (c_{11} x_1 + c_{12} x_{12} + c_{10}) + \overline{w}_2 (c_{21} x_2 + c_{22} x_{22} + c_{20}) \quad (2.8)$$

$$= (\overline{w}_1 x_1) c_{11} + (\overline{w}_1 x_2) c_{12} + \overline{w}_1 c_{10} + (\overline{w}_2 x_1) c_{21} + (\overline{w}_2 x_2) c_{22} + \overline{w}_2 c_{20} \quad (2.9)$$

adalah linier terhadap parameter c_{ij} ($i = 1, 2$ dan $j = 0, 1, 2$).

Algoritma hybrid akan mengatur parameter-parameter c_{ij} secara maju (*forward*) dan akan mengatur parameter-parameter $\{a_i, b_i, c_i\}$ secara mundur (*backward*).

Pada langkah maju (*forward*), input jaringan akan merambat maju sampai pada lapisan keempat, dimana parameter-parameter c_{ij} akan diidentifikasi dengan menggunakan metode *least-square*. Sedangkan pada langkah mundur (*backward*), error sinyal akan merambat mundur dan parameter-parameter $\{a_i, b_i, c_i\}$ akan diperbaiki dengan menggunakan metode *gradient-descent*.

2.3.2.1 LSE Rekursif

Pada pembelajaran *off-line*, misalkan kita memiliki satu output pada jaringan adaptif, yaitu :

$$O = F(i, S) \quad (2.10)$$

Dengan i adalah vektor dari variabel input, S adalah himpunan parameter-parameter, dan F adalah fungsi yang diimplementasikan oleh jaringan adaptif. Jika terdapat fungsi H sedemikian hingga fungsi komposit $H \circ F$ adalah linier untuk elemen-elemen S , maka elemen-elemen ini dapat diidentifikasi dengan metode *least-square*. Andaikan parameter S dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

$$S = S_1 \oplus S_2 \quad (2.11)$$

dengan \oplus adalah *direct sum*, sedemikian hingga $H \circ F$ linier untuk elemen-elemen S_2 , kemudian dengan mengaplikasikan H ke dalam persamaan 2.10, diperoleh :

$$H(\circ) = H \circ F(B_i, S) \quad (2.12)$$

yang linier terhadap elemen-elemen S_2 . Apabila diberikan elemen-elemen S_1 , kita

dapat menempatkan P data pelatihan ke dalam persamaan 2.12, dan mendapatkan sistem persamaan linier, sebagai berikut :

$$Aq = y \quad (2.13)$$

dengan q adalah vektor yang tidak diketahui dan elemen-elemennya merupakan parameter-parameter dari S_2 . Persamaan 2.13 ini kemudian dapat diselesaikan dengan menggunakan metode LSE.

Apabila kita memiliki m elemen pada vektor output y (y berukuran $m \times 1$), dan n parameter θ (θ berukuran $n \times 1$), dengan baris ke-i pada matrik $[A:y]$ dinotasikan sebagai $[a_i^T : y]$. Apabila $m = n$, maka kita dapat menentukan nilai q dari persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$\theta = A^{-1} y \quad (2.14)$$

Namun apabila $m > n$, maka persamaan 2.13 harus dimodifikasi dengan menambahkan vektor error (e), sehingga :

$$A\theta + e = y \quad (2.15)$$

Untuk mendapatkan solusi eksak dari persamaan 2.13, maka kita harus mencari $a\theta = \hat{\theta}$ yang meminimumkan jumlah kuadrat error sebagai berikut :

$$E(\theta) = \sum_{i=1}^m (y_i - a_i^T \theta)^2 = e^T e = (y - A\theta)^T (y - A\theta) \quad (2.16)$$

dengan $e = y - A\theta$ adalah vektor error yang terjadisebagai akibat pemilihan θ .

Jumlah kuadrat error pada persamaan 2.16 akan menjadi minimum apabila $\theta = \hat{\theta}$, yang sering disebut dengan nama *Least-Squares Estimator* (LSE), yang ditulis sebagai berikut :

$$A^T A \hat{\theta} = A^T y \quad (2.17)$$

Jika $A^T A$ adalah nonsingular, dan $\hat{\theta}$ bersifat unik, maka dapat diberikan :

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (2.18)$$

atau dengan membuang (^), dan dengan mengasumsikan jumlah baris dari pasangan A dan y adalah k, maka diperoleh :

$$\theta_k = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (2.19)$$

Salah satu metode LSE adalah LSE rekursif. Pada LSE Rekursif, kita dapat menambahkan suatu pasangan data $[a^T : y]$, sehingga kita memiliki sebanyak $(m+1)$ pasangan data. Dari sini kita dapat menghitung kembali LSE θ_{k+1} dengan bantuan θ_k . Bentuk semacam ini dikenal dengan nama LSE rekursif.

Karena jumlah parameter ada sebanyak n, maka kita bisa menyelesaikan matriks $n \times n$ dengan menggunakan metode invers, sebagai berikut :

$$P_n = (A_n^T A_n)^{-1} \quad (2.20)$$

$$\theta_n = P_n A_n^T y_n \quad (2.21)$$

Selanjutnya, iterasi dimulai dari data ke-(n+1), dengan nilai P_{k+1} dan θ_{k+1} dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{k+1} = P_k - \frac{P_k a_{k+1} a_{k+1}^T P_k}{1 + a_{k+1}^T P_k a_{k+1}} \quad (2.22)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + P_{k+1} a_{k+1} (y_{k+1} - a_{k+1}^T \theta_k) \quad (2.23)$$

Nilai P_0 dan θ_0 dihitung berdasarkan persamaan 2.20 dan 2.21. Sehingga, kalau dilihat kembali persamaan 2.9, maka dapat disimpulkan bahwa ada 6 parameter ($n=6$) untuk n pasangan data pelatihan.

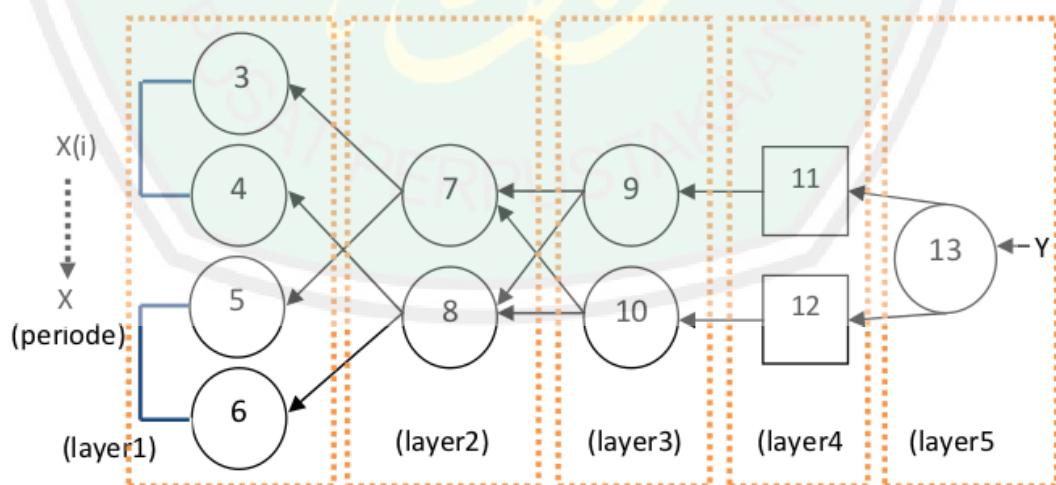
2.3.2.2 Model Propagasi Error

Selanjutnya, jaringan adaptif tersebut dapat dilatih untuk mendapatkan nilai parameter a dan c , pada persamaan 2.2. Dengan mengambil nilai $b = 1$, persamaan 2.2 menjadi :

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^2} \quad (2.24)$$

Untuk melakukan perbaikan terhadap a dan c tersebut, digunakan model propagasi error dengan konsep *gradient-descent*.

Pada blok diagram Gambar 2.4 dijelaskan mengenai sistematika alur mundur dari suatu sistem ANFIS. Pada proses ini dilakukan algoritma EBP (*Error Backpropagation*) dimana pada setiap layer dilakukan perhitungan error untuk melakukan update parameter-parameter ANFIS.



Gambar 2.4 Blok Diagram Alur Mundur ANFIS (Jang, J.-S. R. 1993)

1. Error pada lapisan ke-5

Apabila jaringan adaptif seperti gambar 2.4 hanya memiliki 1 neuron pada lapisan output (neuron ke 13), maka propagasi error yang menuju lapisan ke-5 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_{13} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} = -2(d_{13} - x_{13}) = -2(y_p - y_p^*) \quad (2.26)$$

dengan y_p adalah target output data pelatihan ke-p, dan y_p^* adalah output jaringan pada data pelatihan ke-p.

2. Error pada lapisan ke-4

Propagasi error yang menuju pada lapisan ke-4, yaitu neuron 11 dan neuron 12 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_{11} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) = \varepsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) = \varepsilon_{13}(1) = \varepsilon_{13} \quad (2.27)$$

karena $f_{13} = \overline{w}_1 f_1 + \overline{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\overline{w}_1 f_1)} = 1$

$$\varepsilon_{12} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) = \varepsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) = \varepsilon_{13}(1) = \varepsilon_{13} \quad (2.28)$$

karena $f_{13} = \overline{w}_1 f_1 + \overline{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\overline{w}_2 f_2)} = 1$

3. Error pada lapisan ke-3

Propagasi error yang menuju pada lapisan ke-3, yaitu neuron 9 dan neuron 10 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_9 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \varepsilon_{11} \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \varepsilon_{11} f_1 \quad (2.29)$$

karena $f_{11} = \bar{w}_1 f_1$, maka $\frac{\partial f_{11}}{\partial (\bar{w}_1)} = f_1$

$$\varepsilon_{10} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \varepsilon_{12} \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \varepsilon_{12} f_2 \quad (2.30)$$

karena $f_{12} = \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{12}}{\partial (\bar{w}_2)} = f_2$

4. Error pada lapisan ke-2

Propagasi error yang menuju pada lapisan ke-2, yaitu neuron 7 dan neuron 8

dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_7 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right) \quad (2.31)$$

$$= \varepsilon_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \varepsilon_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right) \quad (2.32)$$

$$= \varepsilon_9 \left(\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \varepsilon_{10} \left(- \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) \quad (2.33)$$

$$= \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} (\varepsilon_9 - \varepsilon_{10}) \quad (2.34)$$

karena $f_9 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_9}{\partial w_1} = \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2}$; dan $f_{10} = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$,

maka $\frac{\partial f_{10}}{\partial w_1} = \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2}$.

$$\varepsilon_8 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right) \quad (2.35)$$

$$= \varepsilon_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) + \varepsilon_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right) \quad (2.36)$$

$$= \varepsilon_{10} \left(\frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \varepsilon_9 \left(- \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} \right) \quad (2.37)$$

$$= \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} (\varepsilon_{10} - \varepsilon_9) \quad (2.38)$$

karena $f_9 = \frac{w_1}{w_1 + w_2}$, maka $\frac{\partial f_9}{\partial w_2} = \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2}$; dan $f_{10} = \frac{w_2}{w_1 + w_2}$,

maka $\frac{\partial f_{10}}{\partial w_2} = \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2}$.

5. Error pada lapisan ke-1

Propagasi error yang menuju pada lapisan ke-1, yaitu neuron 3, 4, 5 dan 6 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_3} \right) = \varepsilon_7 \mu_{B1}(x_2) \quad (2.39)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_4} \right) = \varepsilon_8 \mu_{B2}(x_2) \quad (2.40)$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_5} \right) = \varepsilon_7 \mu_{A1}(x_1) \quad (2.41)$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_6} \right) = \varepsilon_8 \mu_{A2}(x_1) \quad (2.42)$$

karena $f_7 = (\mu_{A1}(x_1))(\mu_{B1}(x_2))$,

maka $\frac{\partial f_7}{\partial (\mu_{A1}(x_1))} = \mu_{B1}(x_2)$ dan $\frac{\partial f_7}{\partial (\mu_{B1}(x_2))} = \mu_{A1}(x_1)$;

dan karena $f_8 = (\mu_{A2}(x_1))(\mu_{B2}(x_2))$,

$$\text{maka } \frac{\partial f_8}{\partial (\mu_{A2}(x_1))} = \mu_{B2}(x_2) \text{ dan } \frac{\partial f_8}{\partial (\mu_{B2}(x_2))} = \mu_{A2}(x_1).$$

Selanjutnya, error tersebut digunakan untuk mencari informasi error terhadap parameter a (a_{11} dan a_{12} untuk A_1 dan A_2 ; a_{21} dan a_{22} untuk B_1 dan B_2), dan c (c_{11} dan c_{12} untuk A_1 dan A_2 ; c_{21} dan c_{22} untuk B_1 dan B_2) sebagai berikut :

$$\text{Karena } \frac{\partial f}{\partial a_{ik}} = \frac{2(x_i - c_{ik})^2}{a_{ik}^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}}\right)^2\right)^2}, \text{ maka}$$

$$\varepsilon_{a11} = \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial a_{11}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial a_{11}} \right) \quad (2.43)$$

$$= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}}\right)^2\right)^2} + \varepsilon_4(0) \quad (2.45)$$

$$= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}}\right)^2\right)^2} \quad (2.46)$$

$$\varepsilon_{a12} = \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial a_{12}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial a_{12}} \right) \quad (2.47)$$

$$= \varepsilon_3(0) + (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})^2}{a_{12}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}}\right)^2\right)^2} \quad (2.48)$$

$$= (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})^2}{a_{12}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}}\right)^2\right)^2} \quad (2.49)$$

$$\varepsilon_{a21} = \varepsilon_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial a_{21}} \right) + \varepsilon_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial a_{21}} \right) \quad (2.50)$$

$$= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})^2}{a_{21}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_6(0) \quad (2.51)$$

$$= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})^2}{a_{21}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}} \right)^2 \right)^2} \quad (2.52)$$

$$\varepsilon_{a22} = \varepsilon_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial a_{22}} \right) + \varepsilon_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial a_{22}} \right) \quad (2.53)$$

$$= \varepsilon_5(0) + (\varepsilon_6) \frac{2(x_2 - c_{22})^2}{a_{22}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2} \quad (2.54)$$

$$= (\varepsilon_6) \frac{2(x_2 - c_{22})^2}{a_{22}^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}} \right)^2 \right)^2} \quad (2.55)$$

Karena $\frac{\partial f}{\partial c_{ik}} = \frac{2(x_i - c_{ik})}{a_{ik}^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}} \right)^2 \right)^2}$, maka

$$\varepsilon_{c11} = \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial c_{11}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial c_{11}} \right) \quad (2.56)$$

$$= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_4(0) \quad (2.57)$$

$$= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}}\right)^2\right)^2} \quad (2.58)$$

$$\varepsilon_{c12} = \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial c_{12}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial c_{12}} \right) \quad (2.59)$$

$$= \varepsilon_3(0) + (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})}{a_{12}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}}\right)^2\right)^2} \quad (2.60)$$

$$= (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})}{a_{12}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}}\right)^2\right)^2} \quad (2.61)$$

$$\varepsilon_{c21} = \varepsilon_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial c_{21}} \right) + \varepsilon_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial c_{21}} \right) \quad (2.62)$$

$$= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})}{a_{21}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}}\right)^2\right)^2} + \varepsilon_6(0) \quad (2.63)$$

$$= (\varepsilon_5) \frac{2(x_2 - c_{21})}{a_{21}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{21}}{a_{21}}\right)^2\right)^2} \quad (2.64)$$

$$\varepsilon_{c22} = \varepsilon_5 \left(\frac{\partial f_5}{\partial c_{22}} \right) + \varepsilon_6 \left(\frac{\partial f_6}{\partial c_{22}} \right) \quad (2.65)$$

$$= \varepsilon_5(0) + (\varepsilon_6) \frac{2(x_2 - c_{22})}{a_{22}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}}\right)^2\right)^2} \quad (2.66)$$

$$= (\varepsilon_6) \frac{2(x_2 - c_{22})}{a_{22}^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_{22}}{a_{22}}\right)^2\right)^2} \quad (2.67)$$

Dari sini, dapat ditentukan perubahan nilai parameter a_{ij} dan c_{ij} (Δa_{ij} dan Δc_{ij}) sebagai berikut :

$$\Delta a_{ij} = \eta \varepsilon_{aij} x_i, \text{ dan} \quad (2.68)$$

$$\Delta c_{ij} = \eta \varepsilon_{cij} x_i \quad (2.69)$$

dengan h adalah laju pembelajaran yang terletak pada interval $[0,1]$. Sehingga nilai a_{ij} dan c_{ij} yang baru adalah :

$$a_{ij} = a_{ij} (\text{lama}) + \Delta a_{ij}, \text{ dan} \quad (2.70)$$

$$c_{ij} = c_{ij} (\text{lama}) + \Delta c_{ij} \quad (2.71)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sejumlah 100 citra *Dental Panoramic Radiograph* yang juga digunakan oleh peneliti sebelumnya, yaitu Akira Taguchi dan Agus Zainal Arifin. Masyarakat yang telah diambil citra *Dental Panoramic Radiograph*-nya juga telah dilakukan tes BMD (*Bone Mineral Density*) untuk mengetahui kerapatan massa tulangnya. Data hasil tes BMD ini nantinya yang digunakan sebagai perbandingan dengan hasil pengukuran citra *Dental Panoramic Radiograph*.

Dari 100 data yang diambil citra *Dental Panoramic Radiograph* dan *Bone Mineral Density* didapatkan 54 data normal, 21 data osteopenia dan 25 data osteoporosis. Kemudian data ini dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu data normal dan data osteoporosis, dengan data osteopenia dimasukkan ke dalam bagian data normal. Sehingga jumlah dari masing-masing bagian menjadi 75 data normal dan 25 data osteoporosis.

Seluruh data tersebut kemudian dilakukan pengukuran tiap index pada gambar citra *Dental Panoramic Radiograph*, hasil pengukuran index tersebut dapat dilihat dalam lampiran 1. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa ada beberapa index yang kosong dikarenakan peneliti kesulitan melakukan pengukuran pada index tersebut karena gambar dari citra DPR yang kurang jelas.

Oleh karena itu, maka peneliti hanya mengambil citra DPR yang lengkap index-nya untuk dilakukan analisis data berikutnya. Data index citra DPR yang lengkap tersebut dapat dilihat pada lampiran 2. Dari pengukuran anatomic index tersebut didapatkan 46 data dengan anatomic index lengkap, yang terdiri dari 36 data normal dan 10 data osteoporosis. Kemudian 46 data tersebut dilakukan perhitungan anatomic index yaitu :

a. Enam index yang digunakan oleh Bozic dan Hren tahun 2005.

$$I_1 = \frac{pa}{Ra} , \quad I_2 = \frac{ph}{Ra} , \quad I_3 = \frac{pf}{Ra} , \quad I_4 = \frac{VA}{Va} , \quad I_5 = \frac{VH}{Vh} , \quad I_6 = \frac{VF}{Vf}$$

b. Satu index yang digunakan Taguchi dkk. tahun 1996.

$$I_7 = MI$$

c. Satu index yang digunakan Gulsahi dkk. tahun 2010.

$$I_8 = \frac{MI}{h}$$

Hasil perhitungan anatomic index tersebut dapat dilihat pada lampiran 3.

Kemudian data anatomic index tersebut dilakukan penghitungan korelasinya dengan data hasil tes BMD (Bone Mineral Density). Data anatomic index dikorelasikan dengan nilai BMD dan OST_LS yang menunjukkan keterangan osteo/normal. Nilai BMD dan OST_LS yang akan dikorelasikan dapat dilihat pada tabel lampiran 4. Nilai 1 pada kolom OST_LS menunjukkan hasil yang normal sedangkan nilai 0 menunjukkan hasil osteoporosis.

Tabel 3.1 Hasil korelasi anatomic index dan BMD

No.	r_{xy} BMD_LS	r_{xy} OST_LS
I_1	-0,095	-0,094
I_2	0,058	-0,020
I_3	-0,043	-0,230
I_4	0,092	0,122
I_5	0,152	0,172
I_6	0,025	-0,265
I_7	0,178	0,159
I_8	0,018	-0,046

Pada tabel 3.1 menunjukkan hasil korelasi data anatomic index dengan BMD dan OST_LS. Tanda positif atau negatif hanya menunjukkan arah hubungan, yaitu hubungan searah apabila positif dan hubungan berkebalikan jika negatif. Dalam tabel tersebut menunjukkan korelasi yang rendah antara data anatomic index dengan BMD dan OST_LS. Oleh karena itu hanya 4 anatomic index yang memiliki korelasi terbesar yang digunakan pada pembuatan aplikasi deteksi osteoporosis melalui citra DPR menggunakan metode ANFIS ini.

Keempat anatomic index dengan korelasi terbesar yang digunakan dalam proses ANFIS kesemuanya diambil berdasarkan korelasi anatomic index dengan OST_LS. Hal ini dilakukan karena rata-rata nilai korelasi antara anatomic index dengan OST_LS lebih tinggi dibandingkan nilai korelasi antara anatomic index dengan BMD_LS. Keempat anatomic index tersebut adalah I_3 , I_5 , I_6 , dan I_7 .

3.1.1 Data Training

Data yang digunakan untuk proses training adalah setengah dari tiap-tiap bagian data normal dan data osteoporosis. Sehingga data yang digunakan untuk training ANFIS berjumlah 5 data osteoporosis dan 18 data normal seperti yang terlihat pada tabel 3.2 dengan nilai 0 yang berarti osteoporosis dan nilai 1 yang berarti normal pada kolom OST LS.

Tabel 3.2 Data yang digunakan dalam proses training

No.	No. DPR	Ra	pf	VH	Vh	VF	Vf	MI	OST LS
1.	3	4,80	3,70	2,40	0,70	2,20	0,70	0,60	1
2.	4	4,35	2,10	0,80	1,10	1,10	1,00	0,50	0
3.	9	3,70	3,70	0,90	0,80	2,20	1,00	0,40	0
4.	10	3,90	3,90	0,80	1,00	2,30	1,25	0,40	1
5.	13	2,38	3,60	1,10	1,10	2,20	1,00	0,50	1
6.	15	2,90	4,10	1,70	1,20	2,40	1,30	0,40	0
7.	19	3,65	3,60	1,50	1,00	2,05	1,05	0,20	0
8.	20	2,95	3,30	1,35	0,90	1,80	1,10	0,55	1
9.	22	4,00	3,10	2,10	0,80	1,40	1,90	0,30	1
10.	23	4,15	3,30	1,40	1,35	1,15	2,00	0,60	1
11.	26	4,50	3,70	1,35	0,95	2,10	1,40	0,30	1
12.	28	4,10	3,60	1,70	0,60	1,90	1,50	0,30	1
13.	29	3,85	3,00	1,40	0,80	1,90	1,50	0,20	1
14.	30	3,80	3,70	1,90	0,90	1,95	1,60	0,30	1
15.	31	3,65	4,55	2,30	0,80	2,90	1,20	0,40	1
16.	32	4,20	3,80	1,70	1,20	2,15	1,80	0,55	1
17.	33	3,90	2,95	1,30	0,90	1,50	0,90	0,30	1
18.	34	3,05	4,25	2,05	1,20	2,35	1,65	0,30	1
19.	39	4,75	2,60	0,65	1,00	1,15	1,15	0,40	1
20.	45	3,90	4,00	2,50	0,80	2,00	1,60	0,65	1
21.	46	3,90	3,40	1,50	0,95	1,40	1,65	0,55	1
22.	47	3,10	2,70	1,00	1,00	1,30	1,00	0,70	1
23.	51	3,30	4,25	1,80	1,00	2,00	1,80	0,60	0

3.1.2 Data Testing

Data yang akan digunakan dalam proses testing ANFIS juga setengah dari tiap-tiap bagian data osteoporosis dan data normal. Sehingga data yang digunakan sebagai data testing ANFIS berjumlah 5 data osteoporosis dan 18 data normal seperti yang terlihat pada tabel 3.3 dengan nilai 0 yang berarti osteoporosis dan nilai 1 yang berarti normal pada kolom OST LS.

Tabel 3.3 Data yang digunakan dalam proses testing

No.	No. DPR	Ra	pf	VH	Vh	VF	Vf	MI	OST LS
1.	49	3,15	4,50	2,25	0,90	2,50	1,65	0,70	1
2.	50	4,00	4,00	2,00	0,85	2,10	1,50	0,60	1
3.	53	4,20	3,60	1,25	1,00	2,20	1,65	0,40	1
4.	57	4,05	3,30	1,55	1,20	1,60	1,30	0,50	1
5.	58	3,20	3,30	0,55	1,25	1,50	1,20	0,30	0
6.	59	3,75	3,40	1,80	0,50	2,05	1,00	0,40	1
7.	61	3,60	4,80	1,90	0,65	3,30	1,20	0,30	0
8.	62	4,10	3,00	1,30	1,00	1,85	1,10	0,40	1
9.	63	3,50	4,05	1,70	1,60	2,00	1,70	0,30	1
10.	64	3,05	3,75	1,80	0,90	1,70	1,60	0,6	1
11.	66	3,50	3,50	1,55	0,80	1,60	1,40	0,450	1
12.	67	3,40	3,30	1,40	1,00	1,70	1,30	0,50	1
13.	70	3,40	4,50	1,60	1,20	2,20	1,80	0,50	1
14.	71	4,10	4,40	1,70	0,90	2,10	1,40	0,40	1
15.	72	2,60	4,25	2,00	0,90	2,55	1,00	0,40	0
16.	76	3,20	3,70	2,10	0,70	1,60	1,60	0,50	1
17.	78	3,35	3,60	1,60	0,80	2,05	1,20	0,50	0
18.	79	3,60	4,1	1,55	1,10	2,05	1,55	0,45	0
19.	89	3,75	4,40	2,10	1,10	2,50	1,45	0,4	1
20.	92	3,60	3,90	2,00	1,15	2,20	1,35	0,45	1
21.	94	3,25	3,90	1,60	0,85	2,35	1,25	0,30	1
22.	95	4,10	4,25	2,10	1,05	2,15	1,65	0,50	1
23.	97	3,60	3,40	1,90	0,80	1,75	1,15	0,50	1

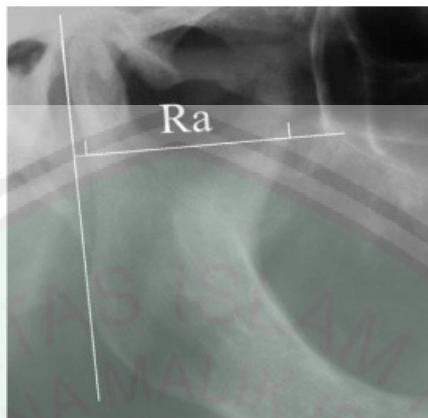
3.2 Skenario Penelitian

Aplikasi yang dibangun dalam penelitian ini adalah program pendekripsi dini osteoporosis melalui anatomic index citra *Dental Panoramic Radiograph* pada area tulang mandibula menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS).

Dalam penelitian ini, input yang dimasukkan ke dalam database berupa nilai-nilai *anatomic* kemudian anatomic tersebut diproses menjadi *anatomic index*, nilai anatomic index inilah yang akan diproses menggunakan ANFIS. Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa *anatomic index*, yaitu *Mental Index* (MI) dan *Panoramic Mandibular Index* (PMI), lebar ramus bagian atas mandibula, tinggi bodi ramus, serta area di bawah *mandibular canal* dan *foramen mentale*. Penelitian ini menggabungkan beberapa *anatomic index* tersebut untuk melakukan pendekripsi osteoporosis. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keseluruhan kualitas tulang rahang dari data yang diuji.

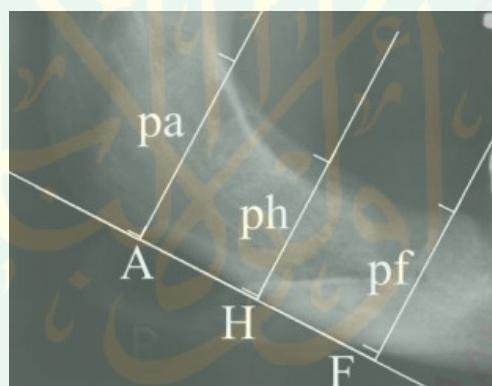
Berikut ini adalah beberapa bagian gambar dari citra *Dental Panoramic Radiograph* yang digunakan dalam penelitian ini :

- a. Bagian pertama dari *Dental Panoramic Radiograph* yang digunakan pada penelitian ini adalah lebar ramus (Ra) pada bagian tulang mandibula seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Lebar ramus (Ra) digambarkan dengan sebuah garis di atas tulang ramus yang tegak lurus terhadap garis batas terluar dari tulang ramus dan mandibula.



Gambar 3.1 Lebar ramus pada bagian atas tulang mandibula (Ra).

(Sumber : Bozic dan Hren, 2005)



Gambar 3.2 Tinggi *body* dari ramus pada tulang mandibula.

(Sumber : Bozic dan Hren, 2005)

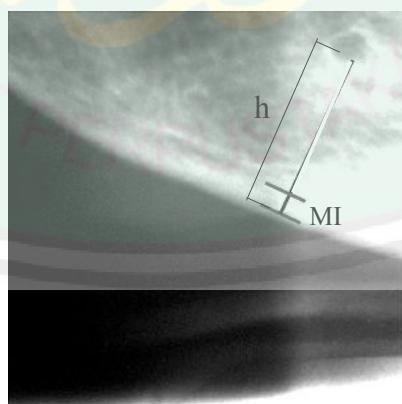
- b. Bagian yang kedua adalah tinggi *body* dari ramus pada tulang mandibula (pa, ph, dan pf) pada titik A, H, dan F seperti yang terlihat pada gambar 3.2. Sebuah garis yang bersinggungan dengan tepi bawah tulang mandibula digambar terlebih dahulu, kemudian digambarlah garis tegak lurus dengan garis tersebut untuk mendapatkan garis pa, ph, pf. Garis pa berada pada sudut dalam dari tulang rahang, dan garis pf berada di tengah dari *foramen mentale*, sedangkan garis ph berada di tengah dari garis pa dan pf.

- c. Bagian yang ketiga seperti yang terlihat pada gambar 3.3 adalah garis VA,VH, VF, Va,Vh, dan Vf. Garis VA dan Va berada pada garis pa dan dipisahkan oleh *mandibular canal*, garis VH dan Vh berada pada garis ph dan dipisahkan oleh *mandibular canal*, sedangkan garis VF dan Vf berada pada garis pf dan dipisahkan oleh *foramen mentale*.



Gambar 3.3 Garis VA,VH, VF, Va,Vh, dan Vf.

(Sumber : Bozic dan Hren, 2005)



Gambar 3.4 Mental Index (MI) dan jarak (h) antara foramen mentale ke tepi tulang mandibula. (Sumber : Arifin dkk.,2005)

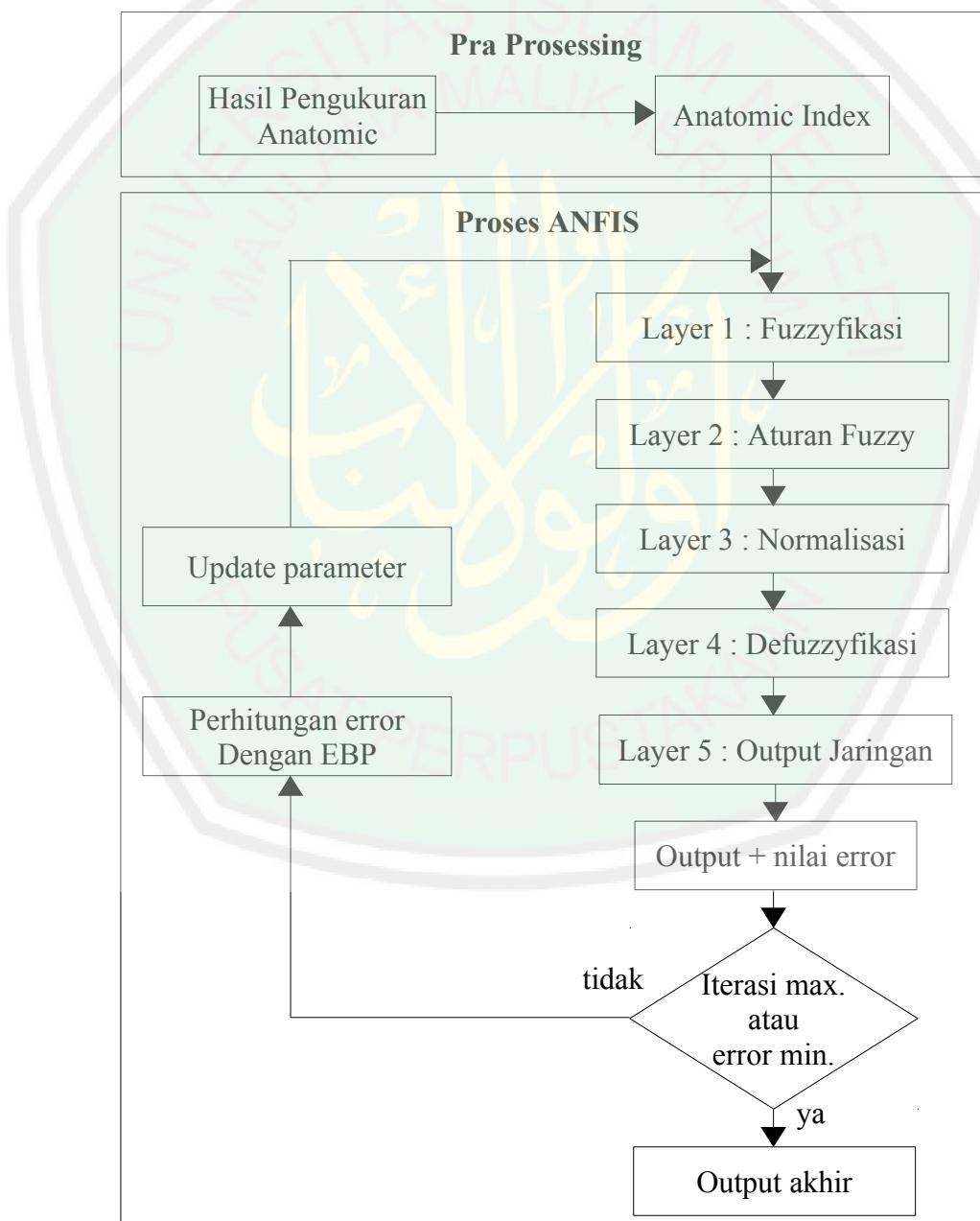
- d. Bagian yang keempat seperti yang terlihat pada gambar 3.4 adalah *Mental Index* (MI) yaitu lebar kortikal di daerah *foramen mentale*, serta jarak (h) antara *foramen mentale* dan tepi tulang mandibula.

Dari keempat bagian dari *Dental Panoramic Radiograph* tersebut diambil 8 *anatomic index* yaitu pa/Ra, pf/Ra, ph/Ra, VA/Va, VF/Vf, VH/Vh, MI, MI/h (PMI). Kemudian diambil 4 *anatomic index* dengan nilai korelasi tertinggi dengan OST_LS untuk kemudian digunakan sebagai nilai masukan untuk diproses menggunakan ANFIS. Keempat anatomic index dengan korelasi tertinggi tersebut adalah pf/Ra, VH/Vh, VF/Vf, dan MI.

Keempat inputan *anatomic index* yang berupa nilai-nilai *crisp* ini kemudian di-fuzzy-kan untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaannya. Kemudian hasilnya yang berupa himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) dimasukkan ke dalam aturan *fuzzy* yang telah dibuat. Hasil dari proses aturan *fuzzy* ini adalah fungsi keanggotaan output, kemudian nilai output yang masih berupa himpunan *fuzzy* ini dikembalikan ke nilai *crisp* dengan proses *defuzzification*. Hasil output proses *defuzzification* tersebut akan dijadikan bahan inputan untuk menghitung *crisp output* (keluaran jaringan) dengan cara menjumlahkan semua inputan.

Kemudian pada langkah balik dilakukan penghitungan error dengan menggunakan algoritma EBP (*Error Backpropagation*) dimana pada setiap layer dilakukan perhitungan error untuk melakukan update parameter-parameter ANFIS. Setelah didapatkan hasil parameter dari fungsi keanggotaan yang baru dan nilai sinyal kesalahan, maka proses selanjutnya adalah melakukan perulangan

sesuai dengan alur maju dan hasil keluaran jaringan akan dilakukan pemeriksaan kesalahan ditahap propagasi balik. Demikian seterusnya proses ini akan berulang hingga memperoleh nilai sinyal kesalahan diterima (nilai error terkecil) atau sampai dengan iterasi maksimum yang telah diatur sebelumnya.



Gambar 3.5 Blok diagram desain sistem aplikasi

Seperi yang terlihat pada gambar 3.5 terdapat 2 proses yaitu praprosessing dan proses ANFIS. Praprosessing terdiri dari pengukuran beberapa bagian dari citra *Dental Panoramic Radiograph* yang digunakan dalam penentuan *anatomic index*. Kemudian setelah nilai-nilai hasil pengukuran didapatkan dilakukanlah perhitungan untuk mendapatkan nilai *anatomic index*.

Proses ANFIS terdiri dari arus maju yang terdiri dari lima layer proses fuzzy dan arus balik yang berisikan perhitungan error dengan algoritma EBP serta pembaharuan parameter-parameter fuzzy yang akan digunakan pada arus maju berikutnya. Kemudian nilai output akhir diperoleh jika nilai error dari jaringan bernilai terkecil atau telah mencapai perulangan maksimal.

Aplikasi pendekripsi dini osteoporosis melalui anatomic index citra *Dental Panoramic Radiograph* pada area tulang mandibula menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) ini dibuat dalam 2 fase, yaitu fase training dan fase testing. Pada fase training, aplikasi akan melakukan update parameter pada setiap perulangannya. Sedangkan pada fase testing, aplikasi hanya melakukan 1 langkah alur maju untuk mendapatkan output tanpa melakukan update parameter.

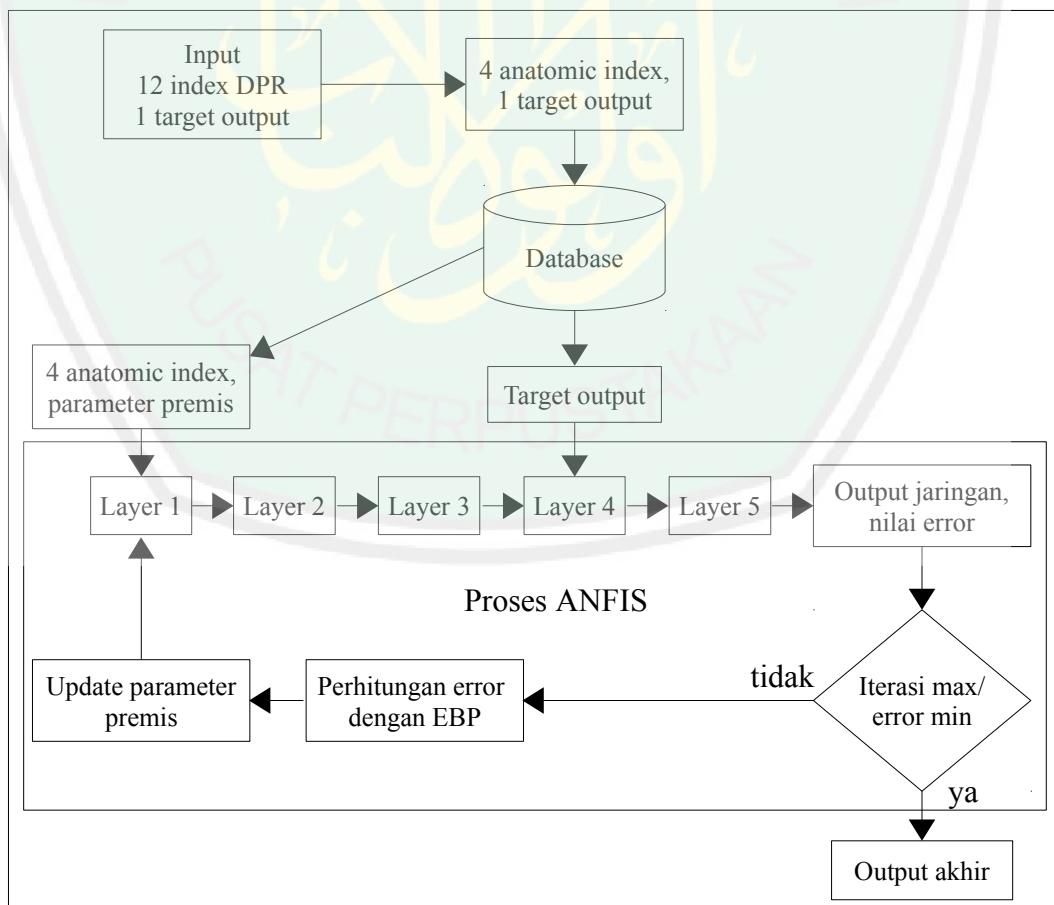
Berikut penjelasan langkah-langkah fase training dan fase testing :

a. Fase Training

Gambar 3.6 menjelaskan langkah-langkah pada fase training, dimulai dari user menginputkan nomer gambar citra *Dental Panoramic Radiograph*, hasil pengukuran citra *Dental Panoramic Radiograph* dan target output ke dalam

sistem. Kemudian keduabelas index hasil pengukuran citra *Dental Panoramic Radiograph* tersebut dilakukan perhitungan sehingga menghasilkan 4 nilai *anatomic index*. Kemudian keempat nilai *anatomic index* bersama nomer gambar dan target output disimpan ke dalam database.

Setelah itu 4 *anatomic index* ini dimasukkan ke dalam proses ANFIS, kemudian dilakukan perhitungan pada setiap layer pada saat alur maju. Output yang dihasilkan sistem kemudian akan dibandingkan dengan target output yang telah diinputkan sebelumnya, kemudian dilakukan perhitungan error pada alur balik.

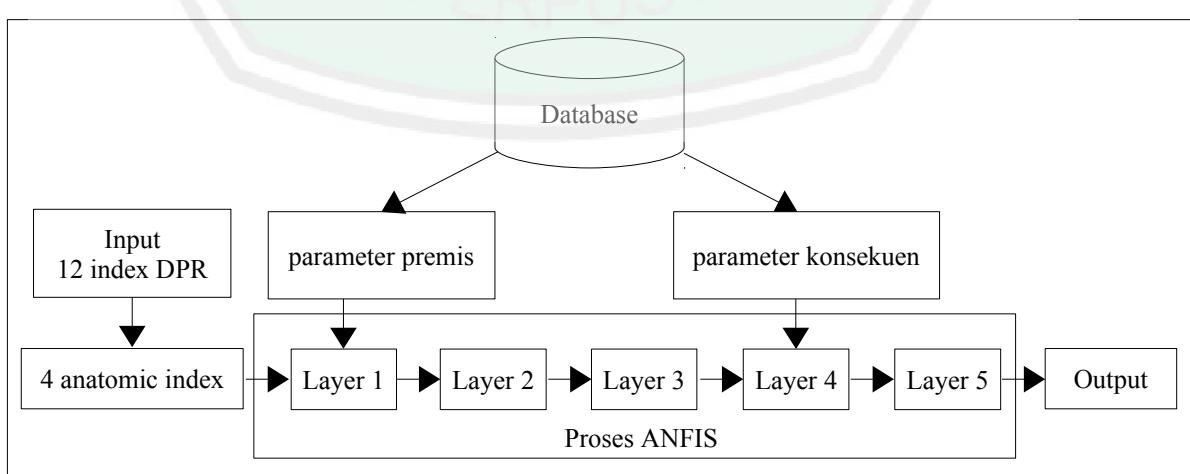


Gambar 3.6 Blok Diagram Training ANFIS

Pada langkah alur balik, parameter premis akan diubah dengan metode *Error Backpropagation* (EBP) dan kemudian nilainya akan diupdate ke dalam database. Setelah itu proses akan berulang kembali ke langkah maju untuk mencari nilai output jaringan. Jika nilai output jaringan telah diperoleh maka akan dicek lagi sinyal kesalahannya. Kemudian sinyal kesalahan ini dilakukan propagasi balik hingga lapisan ke-1 untuk memperoleh parameter keanggotaan yang baru. Demikian seterusnya, proses ini berulang hingga tercapai sinyal kesalahan yang dapat diterima atau sampai dengan iterasi maksimum.

b. Fase Testing

Pada fase testing seperti yang terlihat pada gambar 3.7 user hanya memasukkan 4 nilai anatomic index. Kemudian inputan akan melalui proses ANFIS dimana pada layer 1, nilai dari parameter premis akan diambil dari database sedangkan parameter konsekuensi tetap dihitung dengan *Least-Squares Estimation* (LSE). Setelah melalui proses ANFIS, sistem akan mengeluarkan hasil apakah inputan terdeteksi osteoporosis atau tidak.



Gambar 3.7 Blok Diagram Testing ANFIS

3.3 Pembuatan Aplikasi

Perancangan dan desain aplikasi diimplementasikan dengan bahasa pemrograman Java dan menggunakan database MySQL. Aplikasi dibangun menggunakan IDE Netbeans 7.0.1 untuk mempermudah pembuatan interface dan interaksi dengan database.

3.3.1 Desain Input

Input yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam sistem adalah nilai hasil pengukuran citra *Dental Panoramic Index* dan nilai target output.

3.3.2 Desain Output

Output yang diharapkan dalam aplikasi ini adalah hasil dari keputusan sistem, apakah nilai-nilai input yang dimasukkan mengarah ke kondisi osteoporosis atau normal. Informasi tambahan yang dapat ditampilkan adalah korelasi dengan BMD dan persentase error dari output program.

3.3.3 Desain Proses

Inputan proses utama yang diperlukan untuk menghasilkan output yang diinginkan adalah nilai-nilai *anatomic index* yang dihasilkan dari perhitungan nilai-nilai masukan hasil pengukuran keduabelas bagian *Dental Panoramic Radiograph*.

3.3.3.1 Pembentukan Fungsi Keanggotaan

Setelah didapatkan nilai-nilai *anatomic index* yang akan dijadikan sebagai inputan, maka dibuatlah fungsi keanggotaan dari tiap anatomic index tersebut. Fuzzy Inference System (FIS) yang digunakan adalah FIS model Sugeno orde-1.

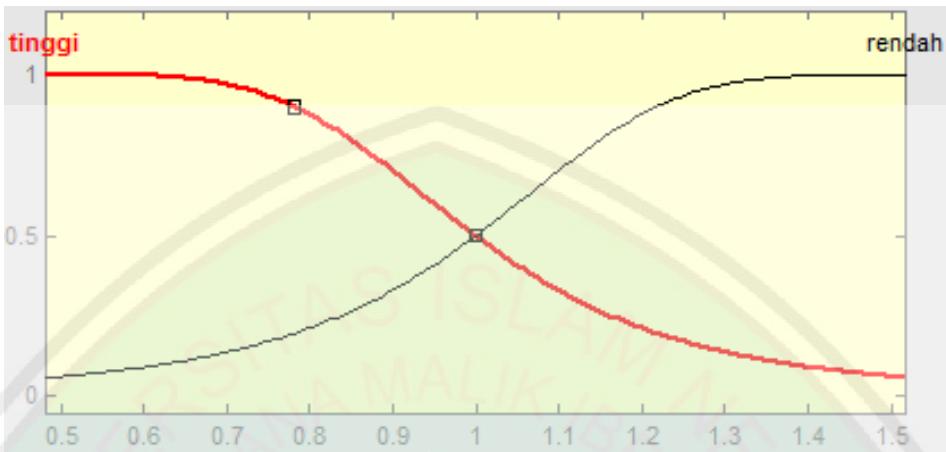
Variabel inputan *anatomic index* mempunyai 2 aturan yaitu tinggi dan rendah. Nilai pada tiap aturan ditentukan berdasarkan nilai *anatomic index* pada tiap data sampel yang merupakan hasil perhitungan pengukuran manual dari citra *Dental Panoramic Radiograph*.

Dari hasil pengukuran manual beberapa bagian dari citra *Dental Panoramic Radiograph* diperolehlah 4 nilai *anatomic index* yang akan digunakan sebagai inputan jaringan ANFIS. Kemudian keempat *anatomic index* tersebut dibuat fungsi keanggotaannya dengan menggunakan fungsi Bell ($x; a, b, c$) , dengan x sebagai nilai input, a menunjukkan lebar fungsi keanggotaan, b sebagai nilai bias, dan c menunjukkan nilai pusat fungsi keanggotaannya.

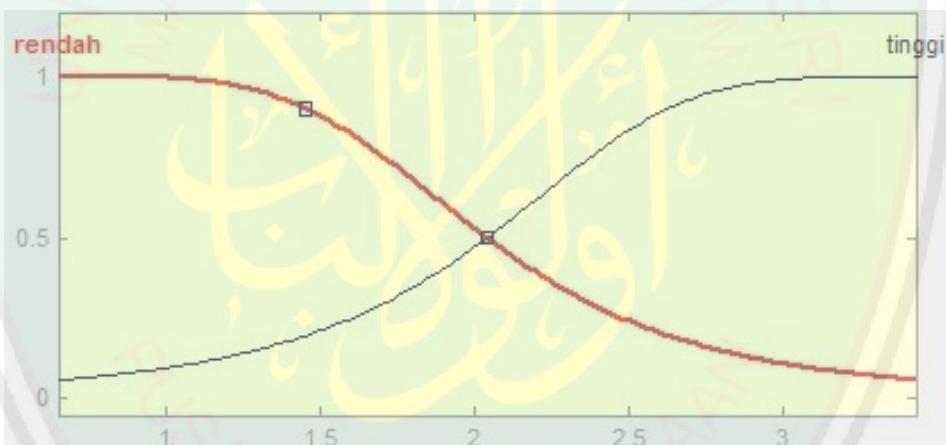
Fungsi keanggotaan dari masing-masing *anatomic index* yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Anatomic index pf/Ra

Fungsi keanggotaan *anatomic index pf/Ra* adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.8. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lebar fungsi keanggotaannya adalah 0,516 dengan nilai pusat keanggotaan rendah pada 0,482 dan nilai pusat keanggotaan tinggi pada 1,515. Sehingga fungsi bell yang didapatkan adalah :
fungsi bell rendah : $\{x; 0.516, 1, 0.482\}$
fungsi bell tinggi : $\{x; 0.516, 1, 1.515\}$



Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan pf/Ra



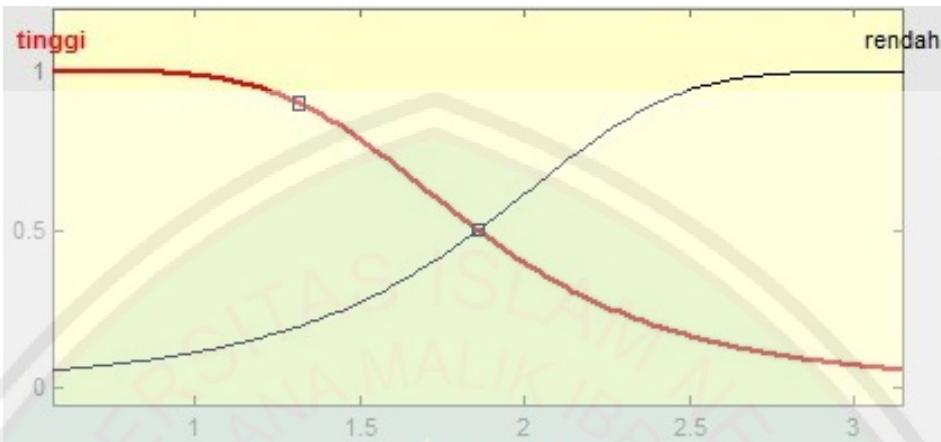
Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan VH/Vh

b. Anatomic index VH/Vh

Fungsi keanggotaan anatomic index VH/Vh adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.9. Gambar 3.9 menunjukkan bahwa lebar fungsi keanggotaannya adalah 1,389 dengan nilai pusat keanggotaan rendah pada 3,428 dan nilai pusat keanggotaan tinggi pada 0,65. Sehingga fungsi bell yang didapatkan adalah :

fungsi bell rendah : {x; 1.389, 1, 3.428}

fungsi bell tinggi : {x; 1.389, 1, 0.65}



Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan VF/Vf

c. Anatomic index VF/Vf

Fungsi keanggotaan anatomic index VF/Vf adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.10. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lebar fungsi keanggotaannya adalah 1,283 dengan nilai pusat keanggotaan rendah pada 0,575 dan nilai pusat keanggotaan tinggi pada 3,14. Sehingga fungsi bell yang didapatkan adalah :

$$\text{fungsi bell rendah : } \{x; 1.283, 1, 0.575\}$$

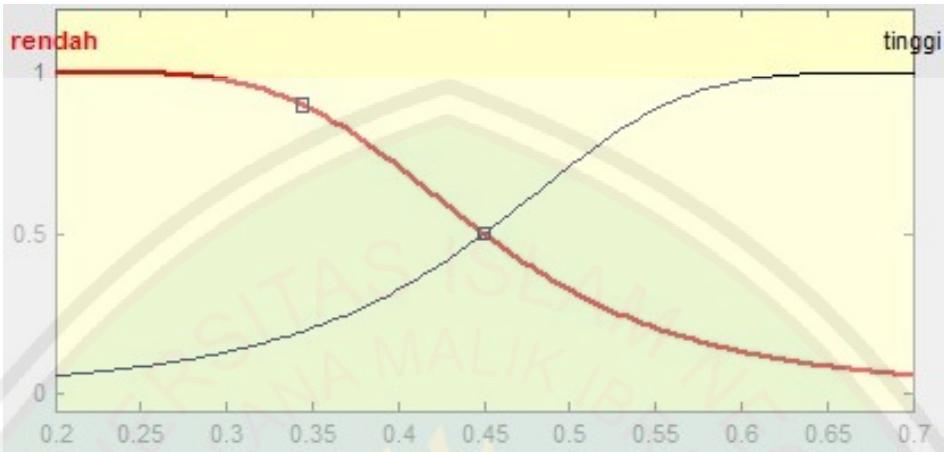
$$\text{fungsi bell tinggi : } \{x; 1.283, 1, 3.14\}$$

d. Anatomic index MI

Fungsi keanggotaan anatomic index MI adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.11. Gambar tersebut menunjukkan bahwa lebar fungsi keanggotaannya adalah 0,25 dengan nilai pusat keanggotaan rendah pada 0,7 dan nilai pusat keanggotaan tinggi pada 0,2. Sehingga fungsi bell yang didapatkan adalah :

$$\text{fungsi bell rendah : } \{x; 0.25, 1, 0.7\}$$

$$\text{fungsi bell tinggi : } \{x; 0.25, 1, 0.2\}$$



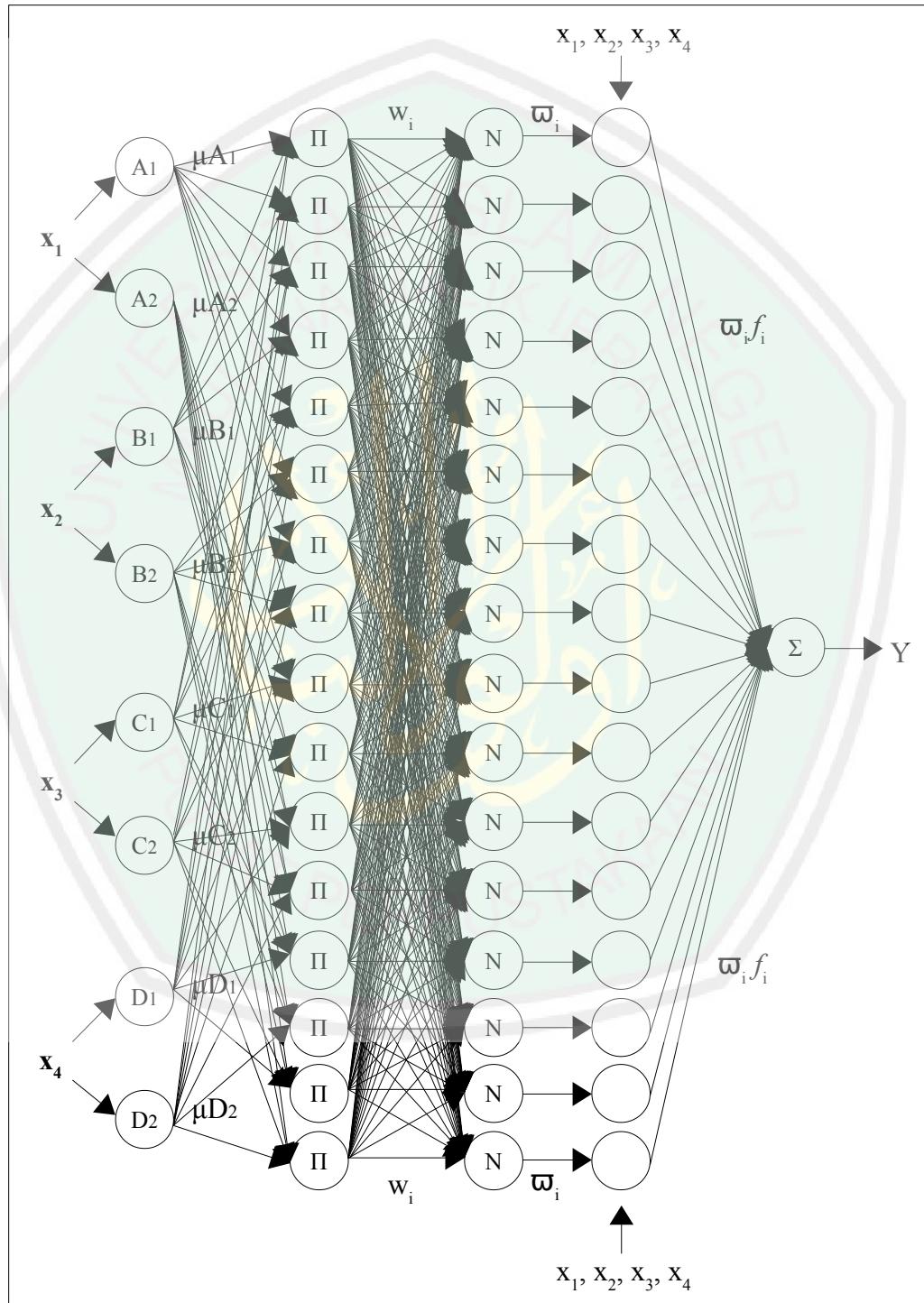
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan MI

Tabel 3.4 menunjukkan nilai awal parameter a dan c yang didapatkan dari fungsi keanggotaan tiap anatomic index yang digunakan dalam proses ANFIS. Nilai awal parameter a dan c inilah yang akan digunakan dalam perhitungan fuzzyifikasi ANFIS layer 1.

Tabel 3.4 Nilai a dan c

	Nilai a		Nilai c
a_1	0.5165	c_1	1.5157
a_2	0.5165	c_2	0.4827
a_3	1.3892	c_3	3.4285
a_4	1.3892	c_4	0.65
a_5	1.2839	c_5	3.1428
a_6	1.2839	c_6	0.575
a_7	0.2499	c_7	0.7
a_8	0.2499	c_8	0.2

3.3.3.2 Perhitungan ANFIS



Gambar 3.12 Arsitektur Jaringan ANFIS dengan 4 input, 16 rule, dan 1 output

Dalam penelitian ini digunakan aksitektur jaringan ANFIS seperti yang terlihat pada gambar 3.12, jaringan ANFIS tersebut memiliki 4 input, 16 aturan, dan 1 output. Metode ANFIS terdiri dari 2 proses yaitu alur maju dan alur mundur. Dalam jaringan ANFIS alur maju terdapat 5 layer yang terdiri dari layer 1 sebagai layer fuzzyifikasi, layer 2 sebagai layer pengimplementasian aturan fuzzy, layer 3 sebagai layer normalisasi, layer 4 sebagai layer defuzzyifikasi, dan layer 5 sebagai output jaringan. Sedangkan pada ANFIS alur mundur digunakan algoritma backpropagation sebagai pelatihannya.

a. Perhitungan ANFIS alur maju

Setelah didapatkan nilai parameter premis seperti pada tabel 3.4, kemudian data diolah dengan perhitungan ANFIS menggunakan 4 input, 16 rule dan 1 output seperti pada gambar 3.12. Data input yang digunakan adalah anatomic index pa/Ra, VH/Vh, VF/Vf, dan MI sebagai nilai X, serta 1 output target Y yang digunakan pada lapisan ke 4. Nilai 4 data input (X_i) dan 1 target output (Y) dapat dilihat pada tabel 3.5. Pada tabel tersebut ditampilkan 5 data DPR yang dilakukan ujicoba pada penelitian ini.

Tabel 3.5 Data input

No.	No. DPR	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y
1.	3	0,7708	3,4286	3,1429	0,6	1
2.	4	0,4828	0,7273	1,1	0,5	0
3.	9	1	1,1250	2,2	0,4	0
4.	10	1	0,8	1,84	0,4	1
5.	13	1,5158	1	2,2	0,5	1

1). Lapisan 1

Dalam lapisan pertama ini dilakukan proses fuzzyifikasi yaitu pembentukan variabel fuzzy yang berasal dari variabel crisp. Proses ini digunakan untuk mencari nilai keanggotaan dari nilai crisp pada fungsi keanggotaan variabel tersebut. Fuzzyifikasi ini menggunakan rumus fungsi bell sebagai berikut :

$$\mu(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{|x_i - c_i|}{a_i} \right)^b} \quad (3.1)$$

Sehingga perhitungan pada tiap neuron pada lapisan 1 menjadi,

$$\begin{aligned} \mu A_1 &= 1 / 1 + |(x_1 - c_1/a_1)^2|^b & \mu A_2 &= 1 / 1 + |(x_1 - c_2/a_2)^2|^b \\ \mu B_1 &= 1 / 1 + |(x_2 - c_3/a_3)^2|^b & \mu B_2 &= 1 / 1 + |(x_2 - c_4/a_4)^2|^b \\ \mu C_1 &= 1 / 1 + |(x_3 - c_5/a_5)^2|^b & \mu C_2 &= 1 / 1 + |(x_3 - c_6/a_6)^2|^b \\ \mu D_1 &= 1 / 1 + |(x_4 - c_7/a_7)^2|^b & \mu D_2 &= 1 / 1 + |(x_4 - c_8/a_8)^2|^b \end{aligned}$$

Pseudocode dari proses fuzzyifikasi di lapisan 1 adalah sebagai berikut :

```
Function layer 1
input: x1,x2,x3,x4 // data training
input: b // bias
input: a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8, // parameter premis
      c1,c2,c3,c4,c5,c6,c7,c8
for i ← 1 to 5
    miuA1[i] ← 1/(1+(abs(x1[i]-c1/a1)^2)*b)
    miuA2[i] ← 1/(1+(abs(x1[i]-c2/a2)^2)*b)
    miuB1[i] ← 1/(1+(abs(x2[i]-c3/a3)^2)*b)
    miuB2[i] ← 1/(1+(abs(x2[i]-c4/a4)^2)*b)
    miuC1[i] ← 1/(1+(abs(x3[i]-c5/a5)^2)*b)
    miuC2[i] ← 1/(1+(abs(x3[i]-c6/a6)^2)*b)
    miuD1[i] ← 1/(1+(abs(x4[i]-c7/a7)^2)*b)
    miuD2[i] ← 1/(1+(abs(x4[i]-c8/a8)^2)*b)
next i
// output neuron layer 1
return miuA1,miuA2,miuB1,miuB2,miuC1,miuC2,miuD1,miuD2
```

Hasil perhitungan fuzzyifikasi yang menggunakan fungsi bell pada lapisan 1 dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Hasil perhitungan lapisan 1

No.	μA_1	μA_2	μB_1	μB_2	μC_1	μC_2	μD_1	μD_2
1.	0.3246	0.7627	1	0.2	1	0.199	0.862	0.28
2.	0.199	1	0.2091	0.996	0.2831	0.8567	0.6097	0.4098
3.	0.5007	0.4992	0.2667	0.8953	0.6496	0.3843	0.4098	0.6097
4.	0.5007	0.4992	0.2183	0.9885	0.4926	0.5074	0.4098	0.6097
5.	1	0.1999	0.2465	0.9403	0.6496	0.3843	0.6097	0.4098

2). Lapisan 2

Setiap neuron pada lapisan ini merupakan neuron yang berisi bobot tetap, dimana outputnya adalah hasil dari semua sinyal yang masuk. Perhitungan pada lapisan ke 2 ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$w_i = \mu A * \mu B * \mu C * \mu D \quad (3.2)$$

Sehingga perhitungan pada tiap neuron pada lapisan 2 menjadi,

$$\begin{array}{ll} w1 = \mu A_1 * \mu B_1 * \mu C_1 * \mu D_1 & w2 = \mu A_1 * \mu B_1 * \mu C_1 * \mu D_2 \\ w3 = \mu A_1 * \mu B_1 * \mu C_2 * \mu D_1 & w4 = \mu A_1 * \mu B_1 * \mu C_2 * \mu D_2 \\ w5 = \mu A_1 * \mu B_2 * \mu C_1 * \mu D_1 & w6 = \mu A_1 * \mu B_2 * \mu C_1 * \mu D_2 \\ w7 = \mu A_1 * \mu B_2 * \mu C_2 * \mu D_1 & w8 = \mu A_1 * \mu B_2 * \mu C_2 * \mu D_2 \\ w9 = \mu A_2 * \mu B_1 * \mu C_1 * \mu D_1 & w10 = \mu A_2 * \mu B_1 * \mu C_1 * \mu D_2 \\ w11 = \mu A_2 * \mu B_1 * \mu C_2 * \mu D_1 & w12 = \mu A_2 * \mu B_1 * \mu C_2 * \mu D_2 \\ w13 = \mu A_2 * \mu B_2 * \mu C_1 * \mu D_1 & w14 = \mu A_2 * \mu B_2 * \mu C_1 * \mu D_2 \\ w15 = \mu A_2 * \mu B_2 * \mu C_2 * \mu D_1 & w16 = \mu A_2 * \mu B_2 * \mu C_2 * \mu D_2 \end{array}$$

Pseudocode perhitungan di lapisan 2 adalah sebagai berikut :

```
Function layer 2
input: miuA1,miuA2,miuB1,miuB2,    // output dari neuron layer 1
       miuC1,miuC2,miuD1,miuD2
for i ← 1 to 5
    w1[i] ← miuA1[i]*miuB1[i]*miuC1[i]*miuD1[i]
    w2[i] ← miuA1[i]*miuB1[i]*miuC1[i]*miuD2[i]
    w3[i] ← miuA1[i]*miuB1[i]*miuC2[i]*miuD1[i]
    w4[i] ← miuA1[i]*miuB1[i]*miuC2[i]*miuD2[i]
    w5[i] ← miuA1[i]*miuB2[i]*miuC1[i]*miuD1[i]
```

```

w6[i] ← miuA1[i]*miuB2[i]*miuC1[i]*miuD2[i]
w7[i] ← miuA1[i]*miuB2[i]*miuC2[i]*miuD1[i]
w8[i] ← miuA1[i]*miuB2[i]*miuC2[i]*miuD2[i]
w9[i] ← miuA2[i]*miuB1[i]*miuC1[i]*miuD1[i]
w10[i] ← miuA2[i]*miuB1[i]*miuC1[i]*miuD2[i]
w11[i] ← miuA2[i]*miuB1[i]*miuC2[i]*miuD1[i]
w12[i] ← miuA2[i]*miuB1[i]*miuC2[i]*miuD2[i]
w13[i] ← miuA2[i]*miuB2[i]*miuC1[i]*miuD1[i]
w14[i] ← miuA2[i]*miuB2[i]*miuC1[i]*miuD2[i]
w15[i] ← miuA2[i]*miuB2[i]*miuC2[i]*miuD1[i]
w16[i] ← miuA2[i]*miuB2[i]*miuC2[i]*miuD2[i]
next i
//output neuron layer 2
return w1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16

```

Hasil perhitungan lengkap pada lapisan 2 dapat dilihat pada lampiran 5.

3). Lapisan 3

Tiap-tiap neuron pada lapisan ketiga berupa node tetap yang outputnya adalah hasil penghitungan rasio dari a predikat (w), dari aturan ke-i terhadap jumlah dari keseluruhan a predikat.

Output dari lapisan ini disebut *normalized firing strengths*. Lapisan ke 3 ini menggunakan rumus berikut ini :

$$\overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + \dots + w_{15} + w_{16}} \quad (3.3)$$

Sehingga perhitungan pada tiap neuron pada layer 3 menjadi,

$$\begin{array}{llll}
\overline{w}_1 = w_1 / w_{total} & \overline{w}_2 = w_2 / w_{total} & \overline{w}_3 = w_3 / w_{total} & \overline{w}_4 = w_4 / w_{total} \\
\overline{w}_5 = w_5 / w_{total} & \overline{w}_6 = w_6 / w_{total} & \overline{w}_7 = w_7 / w_{total} & \overline{w}_8 = w_8 / w_{total} \\
\overline{w}_9 = w_9 / w_{total} & \overline{w}_{10} = w_{10} / w_{total} & \overline{w}_{11} = w_{11} / w_{total} & \overline{w}_{12} = w_{12} / w_{total} \\
\overline{w}_{13} = w_{13} / w_{total} & \overline{w}_{14} = w_{14} / w_{total} & \overline{w}_{15} = w_{15} / w_{total} & \overline{w}_{16} = w_{16} / w_{total}
\end{array}$$

Pseudocode perhitungan di lapisan 3 adalah sebagai berikut :

```

Function layer 3
input w1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9, // output dari neuron layer 2
      w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16
for i ← 1 to 5
    w_total ← w1[i]+w2[i]+w3[i]+w4[i]+w5[i]+w6[i]+w7[i]+w8[i]+w9[i]

```

```

        +w10[i]+w11[i]+w12[i]+w13[i]+w14[i]+w15[i]+w16[i]
wbar1[i] ← w1[i]/w_total
wbar2[i] ← w2[i]/w_total
wbar3[i] ← w3[i]/w_total
wbar4[i] ← w4[i]/w_total
wbar5[i] ← w5[i]/w_total
wbar6[i] ← w6[i]/w_total
wbar7[i] ← w7[i]/w_total
wbar8[i] ← w8[i]/w_total
wbar9[i] ← w9[i]/w_total
wbar10[i] ← w10[i]/w_total
wbar11[i] ← w11[i]/w_total
wbar12[i] ← w12[i]/w_total
wbar13[i] ← w13[i]/w_total
wbar14[i] ← w14[i]/w_total
wbar15[i] ← w15[i]/w_total
wbar16[i] ← w16[i]/w_total
next i
// output neuron layer 3
return wbar1,wbar2,wbar3,wbar4,wbar5,wbar6,wbar7,wbar8,wbar9,
       wbar10,wbar11,wbar12,wbar13,wbar14,wbar15,wbar16

```

Hasil perhitungan lengkap pada lapisan ke 3 yang menggunakan persamaan 3.3 dapat dilihat pada tabel di lampiran 6.

4). Lapisan 4

Tiap neuron pada lapisan keempat ini merupakan sebuah node adaptif terhadap output. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i x_3 + s_i x_4 + t_i) \quad (3.4)$$

dengan \overline{w}_i adalah *normalised firing strength* pada lapisan ketiga dan p, q, r, s, t adalah nilai-nilai parameter konsekuensi pada neuron tersebut. Untuk mendapatkan nilai awal parameter konsekuensi (p, q, r, s, t) digunakan matriks A sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} (\overline{w}_1 x_1)_1 & (\overline{w}_1 x_2)_1 & (\overline{w}_1 x_3)_1 & (\overline{w}_1 x_4)_1 & (\overline{w}_1)_1 & \dots & (\overline{w}_{16} x_1)_1 & (\overline{w}_{16} x_2)_1 & (\overline{w}_{16} x_3)_1 & (\overline{w}_{16} x_4)_1 & (\overline{w}_{16})_1 \\ & \dots & & & & & \dots & & & & \\ & & \dots & & & & & \dots & & & \\ (\overline{w}_1 x_1)_i & (\overline{w}_1 x_2)_i & (\overline{w}_1 x_3)_i & (\overline{w}_1 x_4)_i & (\overline{w}_1)_i & \dots & (\overline{w}_{16} x_1)_i & (\overline{w}_{16} x_2)_i & (\overline{w}_{16} x_3)_i & (\overline{w}_{16} x_4)_i & (\overline{w}_{16})_i \end{bmatrix}$$

Parameter konsekuensi dari matriks A didapatkan dengan metode Least Square Estimator dengan target output y menggunakan persamaan berikut :

$$\theta = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (3.5)$$

Sehingga didapatkan parameter consequent dengan matriks :

$$\theta = \begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \\ r_1 \\ s_1 \\ t_1 \\ .. \\ .. \\ p_{16} \\ q_{16} \\ r_{16} \\ s_{16} \\ t_{16} \end{bmatrix}$$

Dengan perhitungan menggunakan persamaan 3.5 didapatkanlah nilai p, q, r, s , dan t seperti pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Nilai parameter konsekuensi

No.	p	q	r	s	t
1.	-0.745448428	-1.726670466	-1.447654434	-0.358349015	-0.711499606
2.	-0.795832033	6.668059005	-1.354550949	-0.288608046	-0.733841284
3.	-0.935359716	3.967200946	-1.312161427	-0.472315895	-0.931137366
4.	-1.080641611	5.603851132	-1.500848360	-0.392302616	-1.082202337
5.	-0.998543440	3.818385678	12.140603492	-0.436161957	-0.879881522
6.	7.404067657	-1.381353325	-24.741361346	-0.358176660	-0.899557713
7.	-1.386860061	-3.376166308	-1.877647584	-0.710801734	-1.387730088
8.	-1.433602429	-8.702365142	22.084656019	-0.543868736	-1.419008194
9.	-0.744887310	5.709240371	-1.828909181	-0.445742191	-0.839899024
10.	-0.704457974	-1.770570279	-1.333179278	-0.301047604	-0.778702815
11.	-1.024212698	-2.359081951	-1.482096768	-0.567370338	-1.138044590
12.	-1.258930995	-0.767214673	0.274976123	-0.504479304	-1.456486560
13.	-0.795122862	-1.315645833	-8.950915905	-0.436086824	-0.868782268
14.	-0.867823633	-1.492982424	19.523064384	-0.365406552	-0.984317277
15.	14.346559544	4.779977187	6.321240275	3.628214168	-16.402400096
16.	-1.658994584	3.641412157	-19.722328310	-0.748088382	17.568377358

Kemudian untuk menghitung output dari lapisan keempat digunakan rumus berikut :

$$O4_i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i ((p_i x_1) + (q_i x_2) + (r_i x_3) + (s_i x_4) + (t_i)) \quad (3.6)$$

Sehingga perhitungan pada tiap neuron pada layer 4 menjadi,

$$\begin{aligned} O4_1 &= \bar{w}_1 f_1 = \bar{w}_1 ((p_1 x_1) + (q_1 x_2) + (r_1 x_3) + (s_1 x_4) + (t_1)) \\ O4_2 &= \bar{w}_2 f_2 = \bar{w}_2 ((p_2 x_1) + (q_2 x_2) + (r_2 x_3) + (s_2 x_4) + (t_2)) \\ O4_3 &= \bar{w}_3 f_3 = \bar{w}_3 ((p_3 x_1) + (q_3 x_2) + (r_3 x_3) + (s_3 x_4) + (t_3)) \\ O4_4 &= \bar{w}_4 f_4 = \bar{w}_4 ((p_4 x_1) + (q_4 x_2) + (r_4 x_3) + (s_4 x_4) + (t_4)) \\ O4_5 &= \bar{w}_5 f_5 = \bar{w}_5 ((p_5 x_1) + (q_5 x_2) + (r_5 x_3) + (s_5 x_4) + (t_5)) \\ O4_6 &= \bar{w}_6 f_6 = \bar{w}_6 ((p_6 x_1) + (q_6 x_2) + (r_6 x_3) + (s_6 x_4) + (t_6)) \\ O4_7 &= \bar{w}_7 f_7 = \bar{w}_7 ((p_7 x_1) + (q_7 x_2) + (r_7 x_3) + (s_7 x_4) + (t_7)) \\ O4_8 &= \bar{w}_8 f_8 = \bar{w}_8 ((p_8 x_1) + (q_8 x_2) + (r_8 x_3) + (s_8 x_4) + (t_8)) \\ O4_9 &= \bar{w}_9 f_9 = \bar{w}_9 ((p_9 x_1) + (q_9 x_2) + (r_9 x_3) + (s_9 x_4) + (t_9)) \\ O4_{10} &= \bar{w}_{10} f_{10} = \bar{w}_{10} ((p_{10} x_1) + (q_{10} x_2) + (r_{10} x_3) + (s_{10} x_4) + (t_{10})) \\ O4_{11} &= \bar{w}_{11} f_{11} = \bar{w}_{11} ((p_{11} x_1) + (q_{11} x_2) + (r_{11} x_3) + (s_{11} x_4) + (t_{11})) \\ O4_{12} &= \bar{w}_{12} f_{12} = \bar{w}_{12} ((p_{12} x_1) + (q_{12} x_2) + (r_{12} x_3) + (s_{12} x_4) + (t_{12})) \\ O4_{13} &= \bar{w}_{13} f_{13} = \bar{w}_{13} ((p_{13} x_1) + (q_{13} x_2) + (r_{13} x_3) + (s_{13} x_4) + (t_{13})) \\ O4_{14} &= \bar{w}_{14} f_{14} = \bar{w}_{14} ((p_{14} x_1) + (q_{14} x_2) + (r_{14} x_3) + (s_{14} x_4) + (t_{14})) \\ O4_{15} &= \bar{w}_{15} f_{15} = \bar{w}_{15} ((p_{15} x_1) + (q_{15} x_2) + (r_{15} x_3) + (s_{15} x_4) + (t_{15})) \\ O4_{16} &= \bar{w}_{16} f_{16} = \bar{w}_{16} ((p_{16} x_1) + (q_{16} x_2) + (r_{16} x_3) + (s_{16} x_4) + (t_{16})) \end{aligned}$$

Pseudocode perhitungan di lapisan 4 adalah sebagai berikut :

```
Function layer 4
input: x1,x2,x3,x4,y      // data training(x), target output(y)
input: wbar1,wbar2,wbar3,wbar4,wbar5,wbar6,wbar7,wbar8,wbar9, // -output- //
      wbar10,wbar11,wbar12,wbar13,wbar14,wbar15,wbar16        // -layer3- //
for i ← 1 to 5
A[i] ← [           // matriks A
  wbar1[i]*x1[i]  wbar1[i]*x2[i]  wbar1[i]*x3[i]  wbar1[i]*x4[i]  wbar1[i]
```

```

wbar2[i]*x1[i] wbar2[i]*x2[i] wbar2[i]*x3[i] wbar2[i]*x4[i] wbar2[i]
wbar3[i]*x1[i] wbar3[i]*x2[i] wbar3[i]*x3[i] wbar3[i]*x4[i] wbar3[i]
wbar4[i]*x1[i] wbar4[i]*x2[i] wbar4[i]*x3[i] wbar4[i]*x4[i] wbar4[i]
wbar5[i]*x1[i] wbar5[i]*x2[i] wbar5[i]*x3[i] wbar5[i]*x4[i] wbar5[i]
wbar6[i]*x1[i] wbar6[i]*x2[i] wbar6[i]*x3[i] wbar6[i]*x4[i] wbar6[i]
wbar7[i]*x1[i] wbar7[i]*x2[i] wbar7[i]*x3[i] wbar7[i]*x4[i] wbar7[i]
wbar8[i]*x1[i] wbar8[i]*x2[i] wbar8[i]*x3[i] wbar8[i]*x4[i] wbar8[i]
wbar9[i]*x1[i] wbar9[i]*x2[i] wbar9[i]*x3[i] wbar9[i]*x4[i] wbar9[i]
wbar10[i]*x1[i] wbar10[i]*x2[i] wbar10[i]*x3[i] wbar10[i]*x4[i] wbar10[i]
wbar11[i]*x1[i] wbar11[i]*x2[i] wbar11[i]*x3[i] wbar11[i]*x4[i] wbar11[i]
wbar12[i]*x1[i] wbar12[i]*x2[i] wbar12[i]*x3[i] wbar12[i]*x4[i] wbar12[i]
wbar13[i]*x1[i] wbar13[i]*x2[i] wbar13[i]*x3[i] wbar13[i]*x4[i] wbar13[i]
wbar14[i]*x1[i] wbar14[i]*x2[i] wbar14[i]*x3[i] wbar14[i]*x4[i] wbar14[i]
wbar15[i]*x1[i] wbar15[i]*x2[i] wbar15[i]*x3[i] wbar15[i]*x4[i] wbar15[i]
wbar16[i]*x1[i] wbar16[i]*x2[i] wbar16[i]*x3[i] wbar16[i]*x4[i] wbar16[i]]
next i
At←tranpose A[5]
theta←(inv(At*A))*At*y // theta->p,q,r,s,t
for i←1 to 5
    O4[i][1]←wbar1[i]*((p1*x1)+(q1*x2)+(r1*x3)+(s1*x4)+t1)
    O4[i][2]←wbar2[i]*((p2*x1)+(q2*x2)+(r2*x3)+(s2*x4)+t2)
    O4[i][3]←wbar3[i]*((p3*x1)+(q3*x2)+(r3*x3)+(s3*x4)+t3)
    O4[i][4]←wbar4[i]*((p4*x1)+(q4*x2)+(r4*x3)+(s4*x4)+t4)
    O4[i][5]←wbar5[i]*((p5*x1)+(q5*x2)+(r5*x3)+(s5*x4)+t5)
    O4[i][6]←wbar6[i]*((p6*x1)+(q6*x2)+(r6*x3)+(s6*x4)+t6)
    O4[i][7]←wbar7[i]*((p7*x1)+(q7*x2)+(r7*x3)+(s7*x4)+t7)
    O4[i][8]←wbar8[i]*((p8*x1)+(q8*x2)+(r8*x3)+(s8*x4)+t8)
    O4[i][9]←wbar9[i]*((p9*x1)+(q9*x2)+(r9*x3)+(s9*x4)+t9)
    O4[i][10]←wbar10[i]*((p10*x1)+(q10*x2)+(r10*x3)+(s10*x4)+t10)
    O4[i][11]←wbar10[i]*((p11*x1)+(q11*x2)+(r11*x3)+(s11*x4)+t11)
    O4[i][12]←wbar11[i]*((p12*x1)+(q12*x2)+(r12*x3)+(s12*x4)+t12)
    O4[i][13]←wbar12[i]*((p13*x1)+(q13*x2)+(r13*x3)+(s13*x4)+t13)
    O4[i][14]←wbar13[i]*((p14*x1)+(q14*x2)+(r14*x3)+(s14*x4)+t14)
    O4[i][15]←wbar14[i]*((p15*x1)+(q15*x2)+(r15*x3)+(s15*x4)+t15)
    O4[i][16]←wbar15[i]*((p16*x1)+(q16*x2)+(r16*x3)+(s16*x4)+t16)
next i
return O4 //output layer 4

```

Sehingga output lengkap dari lapisan keempat ini dapat dilihat pada tabel di lampiran 7.

5). Lapisan 5

Pada lapisan 5 ini dilakukan perhitungan sinyal keluaran dari jaringan ANFIS sebelumnya, yaitu output dari layer 4 dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk menggunakan persamaan 3.7 berikut :

$$O_{5i} = \sum \overline{w}_i f_i = \sum O_{4i} \quad (3.7)$$

Tabel 3.8 Output lapisan 5

No.	Nilai O ₅
1.	0.9999999999989918
2.	0.000000000000504
3.	-0.000000000000216
4.	0.9999999999979314
5.	0.999999999997272

Sehingga perhitungan pada neuron layer 5 menjadi,

$$O_5 = O_{4_1} + O_{4_2} + O_{4_3} + O_{4_4} + O_{4_5} + O_{4_6} + O_{4_7} + O_{4_8} + O_{4_9} + O_{4_{10}} + \\ O_{4_{11}} + O_{4_{12}} + O_{4_{13}} + O_{4_{14}} + O_{4_{15}} + O_{4_{16}}$$

Pseudocode perhitungan di lapisan 5 adalah sebagai berikut :

```
Function layer 5
input: O4 //output dari layer 4
for i ← 1 to 5
    O5[i] ← O4[i][1]+O4[i][2]+O4[i][3]+O4[i][4]+O4[i][5]+O4[i][6]+
        O4[i][7]+O4[i][8]+O4[i][9]+O4[i][10]+O4[i][11]+O4[i][12]+
        O4[i][13]+O4[i][14]+O4[i][15]+O4[i][16]
next i
return O5 //output layer 5
```

Output dari lapisan kelima sekaligus output alur maju ANFIS ditunjukkan pada tabel 3.8.

b. Perhitungan ANFIS arus balik

Pada arus balik ini digunakan algoritma EBP (Error Back Propagation) dimana dilakukan perhitungan error pada tiap layer untuk melakukan update parameter-parameter ANFIS.

1). Error pada lapisan 5

Jaringan ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini memiliki 1 neuron output. Maka propagasi error pada lapisan 5 adalah seperti pada persamaan 3.8.

$$\varepsilon O5 = \frac{\partial E_p}{\partial x_{O5}} = -2(d_{O5} - x_{O5}) = -2(y - y') \quad (3.8)$$

Dimana y_i adalah target dan y'_i adalah output dari ANFIS lapisan kelima.

Sehingga perhitungan neuron error pada lapisan ke-5 menjadi $\varepsilon O5 = -2(y - O5)$.

Pseudocode dari error layer 5 adalah sebagai berikut :

```
Function errorlayer 5
input: O5,y      //output dari layer5(O5), target(y)
for i ← 1 to 5
    e05[i] ← -2(y[i]-O5[i])
next i
return e05      //output errorlayer 5
```

Hasil dari perhitungan tersebut adalah seperti terlihat pada tabel 3.9.

2). Error pada lapisan 4

Propagasi error yang menuju lapisan keempat pada arus balik dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon O4_i = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{O5}} \right) \left(\frac{\partial f_{O5}}{\partial x_{O4i}} \right) = \varepsilon O5 \left(\frac{\partial f_{O5}}{\partial x_{O4i}} \right) = \varepsilon O5(1) = \varepsilon O5 \quad (3.9)$$

Sehingga perhitungan tiap neuron error pada layer 4 menjadi,

$$\varepsilon O4_1 = \varepsilon O4_2 = \varepsilon O4_3 = \varepsilon O4_4 = \varepsilon O4_5 = \varepsilon O4_6 = \varepsilon O4_7 = \varepsilon O4_8 = \varepsilon O4_9 = \varepsilon O4_{10} = \varepsilon O4_{11} = \varepsilon O4_{12} = \varepsilon O4_{13} = \varepsilon O4_{14} = \varepsilon O4_{15} = \varepsilon O4_{16} = \varepsilon O5$$

Nilai error pada lapisan keempat ini sama dengan nilai error pada lapisan kelima karena pada lapisan keempat jalur mundur jaringan adaptif bersifat tetap.

Tabel 3.9 Nilai error lapisan 5

No.	Nilai εO_5
1.	-0.000000000000201
2.	0.0000000000001008
3.	-0.000000000000432
4.	-0.0000000000004137
5.	-0.0000000000005456

Pseudocode perhitungan error layer 4 adalah sebagai berikut :

```
Function errorlayer 4
input: e05 // output dari errorlayer 5
for i←1 to 5
    for j←1 to 16
        e04[i][j]←e05[i]
    next j
next i
return e04 // output errorlayer 4
```

Hasil dari perhitungan error pada lapisan keempat ini adalah seperti terlihat pada tabel di lampiran 8.

3). Error pada lapisan 3

Propagasi error yang menuju lapisan ketiga pada arus balik dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon O3_i = \varepsilon O4_i f_i = \varepsilon O4_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i x_3 + s_i x_4 + t_i) \quad (3.10)$$

dengan f_i sesuai dengan f_i pada layer 4, sehingga perhitungan pada tiap neuron error lapisan 3 menjadi,

$$\varepsilon O3_1 = \varepsilon O4_1 (p_1 x_1 + q_1 x_2 + r_1 x_3 + s_1 x_4 + t_1)$$

$$\varepsilon O3_2 = \varepsilon O4_2 (p_2 x_1 + q_2 x_2 + r_2 x_3 + s_2 x_4 + t_2)$$

$$\varepsilon O3_3 = \varepsilon O4_3 (p_3 x_1 + q_3 x_2 + r_3 x_3 + s_3 x_4 + t_3)$$

$$\varepsilon O3_4 = \varepsilon O4_4 (p_4 x_1 + q_4 x_2 + r_4 x_3 + s_4 x_4 + t_4)$$

$$\varepsilon O3_5 = \varepsilon O4_5 (p_5 x_1 + q_5 x_2 + r_5 x_3 + s_5 x_4 + t_5)$$

$$\varepsilon O3_6 = \varepsilon O4_6 (p_6 x_1 + q_6 x_2 + r_6 x_3 + s_6 x_4 + t_6)$$

$$\varepsilon O3_7 = \varepsilon O4_7 (p_7 x_1 + q_7 x_2 + r_7 x_3 + s_7 x_4 + t_7)$$

$$\varepsilon O3_8 = \varepsilon O4_8 (p_8 x_1 + q_8 x_2 + r_8 x_3 + s_8 x_4 + t_8)$$

$$\varepsilon O3_9 = \varepsilon O4_9 (p_9 x_1 + q_9 x_2 + r_9 x_3 + s_9 x_4 + t_9)$$

$$\varepsilon O3_{10} = \varepsilon O4_{10} (p_{10} x_1 + q_{10} x_2 + r_{10} x_3 + s_{10} x_4 + t_{10})$$

$$\varepsilon O3_{11} = \varepsilon O4_{11} (p_{11} x_1 + q_{11} x_2 + r_{11} x_3 + s_{11} x_4 + t_{11})$$

$$\varepsilon O3_{12} = \varepsilon O4_{12} (p_{12}x_1 + q_{12}x_2 + r_{12}x_3 + s_{12}x_4 + t_{12})$$

$$\varepsilon O3_{13} = \varepsilon O4_{13} (p_{13}x_1 + q_{13}x_2 + r_{13}x_3 + s_{13}x_4 + t_{13})$$

$$\varepsilon O3_{14} = \varepsilon O4_{14} (p_{14}x_1 + q_{14}x_2 + r_{14}x_3 + s_{14}x_4 + t_{14})$$

$$\varepsilon O3_{15} = \varepsilon O4_{15} (p_{15}x_1 + q_{15}x_2 + r_{15}x_3 + s_{15}x_4 + t_{15})$$

$$\varepsilon O3_{16} = \varepsilon O4_{16} (p_{16}x_1 + q_{16}x_2 + r_{16}x_3 + s_{16}x_4 + t_{16})$$

Pseudocode perhitungan error layer 3 adalah sebagai berikut :

```
Function errorlayer 3
input: theta(p,q,r,s,t)    // theta dari layer4
input: eO4[i][j]
for i ← 1 to 5
    for j ← 1 to 16
        eO3[i][j] ← eO4[i][j] * ((p[j]*x1[i]) + (q[j]*x2[i]) + (r[j]*x3[i])
                                    + (s[j]*x4[i]) + t[j])
    next j
next i
return eO3    // output errorlayer3
```

Sehingga hasil dari perhitungan pada error layer 3 adalah seperti terlihat pada tabel di lampiran 9.

4). Error pada lapisan 2

Propagasi error yang menuju lapisan kedua pada arus balik dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \varepsilon O2_i &= \left(\frac{\partial E_p}{\partial xO5} \right) \left(\frac{\partial fO5}{\partial xO4_1} \right) \left(\frac{\partial fO4_1}{\partial xO3_1} \right) \left(\frac{\partial fO3_1}{\partial xO2_i} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial xO5} \right) \left(\frac{\partial fO5}{\partial xO4_2} \right) \\ &\quad \left(\frac{\partial fO4_2}{\partial xO3_2} \right) \left(\frac{\partial fO3_2}{\partial xO2_i} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial xO5} \right) \left(\frac{\partial fO5}{\partial xO4_3} \right) \left(\frac{\partial fO4_3}{\partial xO3_3} \right) \left(\frac{\partial fO3_3}{\partial xO2_i} \right) \quad (3.11) \\ &\quad + \dots + \left(\frac{\partial E_p}{\partial xO5} \right) \left(\frac{\partial fO5}{\partial xO4_{16}} \right) \left(\frac{\partial fO4_{16}}{\partial xO3_{16}} \right) \left(\frac{\partial fO3_{16}}{\partial xO2_i} \right) \end{aligned}$$

sehingga perhitungan pada tiap neuron error lapisan 2 menjadi,

$$\varepsilon O2_1 = \varepsilon O3_1 \left((w_{total} - w_1) / w_{total}^2 \right) + \varepsilon O3_2 \left(-w_2 / w_{total}^2 \right) + \dots + \varepsilon O3_{16} \left(-w_{16} / w_{total}^2 \right)$$

$$\varepsilon O2_2 = \varepsilon O3_2 \left((w_{total} - w_2) / w_{total}^2 \right) + \varepsilon O3_3 \left(-w_3 / w_{total}^2 \right) + \dots + \varepsilon O3_1 \left(-w_1 / w_{total}^2 \right)$$

$$\varepsilon O2_3 = \varepsilon O3_3 \left((w_{total} - w_3) / w_{total}^2 \right) + \varepsilon O3_4 \left(-w_4 / w_{total}^2 \right) + \dots + \varepsilon O3_2 \left(-w_2 / w_{total}^2 \right)$$

$$\begin{aligned}\epsilon O_{24} &= \epsilon O_{34} \left((\frac{w_{total}-w_4}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{35} \left(-\frac{w_5}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{33} \left(-\frac{w_3}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{25} &= \epsilon O_{35} \left((\frac{w_{total}-w_5}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{36} \left(-\frac{w_6}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{34} \left(-\frac{w_4}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{26} &= \epsilon O_{36} \left((\frac{w_{total}-w_6}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{37} \left(-\frac{w_7}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{35} \left(-\frac{w_5}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{27} &= \epsilon O_{37} \left((\frac{w_{total}-w_7}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{38} \left(-\frac{w_8}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{36} \left(-\frac{w_6}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{28} &= \epsilon O_{38} \left((\frac{w_{total}-w_8}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{39} \left(-\frac{w_9}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{37} \left(-\frac{w_7}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{29} &= \epsilon O_{39} \left((\frac{w_{total}-w_9}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{310} \left(-\frac{w_{10}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{38} \left(-\frac{w_8}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{210} &= \epsilon O_{310} \left((\frac{w_{total}-w_{10}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{311} \left(-\frac{w_{11}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{39} \left(-\frac{w_9}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{211} &= \epsilon O_{311} \left((\frac{w_{total}-w_{11}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{312} \left(-\frac{w_{12}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{310} \left(-\frac{w_{10}}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{212} &= \epsilon O_{312} \left((\frac{w_{total}-w_{12}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{313} \left(-\frac{w_{13}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{311} \left(-\frac{w_{11}}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{213} &= \epsilon O_{313} \left((\frac{w_{total}-w_{13}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{314} \left(-\frac{w_{14}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{312} \left(-\frac{w_{12}}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{214} &= \epsilon O_{314} \left((\frac{w_{total}-w_{14}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{315} \left(-\frac{w_{15}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{313} \left(-\frac{w_{13}}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{215} &= \epsilon O_{315} \left((\frac{w_{total}-w_{15}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{316} \left(-\frac{w_{16}}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{314} \left(-\frac{w_{14}}{w_{total}} \right)^2 \\ \epsilon O_{216} &= \epsilon O_{316} \left((\frac{w_{total}-w_{16}}{w_{total}})^2 \right) + \epsilon O_{31} \left(-\frac{w_1}{w_{total}} \right)^2 + \dots + \epsilon O_{315} \left(-\frac{w_{15}}{w_{total}} \right)^2\end{aligned}$$

Pseudocode dari perhitungan error layer 2 adalah sebagai berikut :

```
Function errorlayer 2
input: eO3      // output errorlayer3
input: w1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,      //output dari layer2
       w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16
for i←1 to 5
    w_total←w1[i]+w2[i]+w3[i]+w4[i]+w5[i]+w6[i]+w7[i]+w8[i]+w9[i]
           +w10[i]+w11[i]+w12[i]+w13[i]+w14[i]+w15[i]+w16[i]
    eTA ←eO3[i][1]*((w1[i])/w_total^2);
    eTB ←eO3[i][2]*((w2[i])/w_total^2);
    eTC ←eO3[i][3]*((w3[i])/w_total^2);
    eTD ←eO3[i][4]*((w4[i])/w_total^2);
    eTE ←eO3[i][5]*((w5[i])/w_total^2);
    eTF ←eO3[i][6]*((w6[i])/w_total^2);
    eTG ←eO3[i][7]*((w7[i])/w_total^2);
    eTH ←eO3[i][8]*((w8[i])/w_total^2);
    eTI ←eO3[i][9]*((w9[i])/w_total^2);
    eTJ ←eO3[i][10]*((w10[i])/w_total^2);
    eTK ←eO3[i][11]*((w11[i])/w_total^2);
    eTL ←eO3[i][12]*((w12[i])/w_total^2);
    eTM ←eO3[i][13]*((w13[i])/w_total^2);
    eTN ←eO3[i][14]*((w14[i])/w_total^2);
    eTO ←eO3[i][15]*((w15[i])/w_total^2);
    eTP ←eO3[i][16]*((w16[i])/w_total^2);
eO2[i][1]←eO3[i][1]*((w1[i])/w_total^2)+eTB+eTC+eTD+
           eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP
eO2[i][2]←eO3[i][2]*((w2[i])/w_total^2)+eTC+eTD+eTE+
           eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA
```

```

eO2[i][3] ← eO2[i][3] * ((total_w-w3[i])/w_total^2) + eTD+eTE+eTF+
    eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB
eO2[i][4] ← eO3[i][4] * ((total_w-w4[i])/w_total^2) + eTE+eTF+eTG+
    eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC
eO2[i][5] ← eO3[i][5] * ((total_w-w5[i])/w_total^2) + eTF+eTG+eTH+
    eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD
eO2[i][6] ← eO3[i][6] * ((total_w-w6[i])/w_total^2) + eTG+eTH+eTI+
    eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE
eO2[i][7] ← eO3[i][7] * ((total_w-w7[i])/w_total^2) + eTH+eTI+eTJ+
    eTK+eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF
eO2[i][8] ← eO3[i][8] * ((total_w-w8[i])/w_total^2) + eTI+eTJ+eTK+
    eTL+eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG
eO2[i][9] ← eO3[i][9] * ((total_w-w9[i])/w_total^2) + eTJ+eTK+eTL+
    eTM+eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH
eO2[i][10] ← eO3[i][10] * ((total_w-w10[i])/w_total^2) + eTK+eTL+eTM
    + eTN+eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI
eO2[i][11] ← eO3[i][11] * ((total_w-w11[i])/w_total^2) + eTL+eTM+eTN
    + eTO+eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ
eO2[i][12] ← eO3[i][12] * ((total_w-w12[i])/w_total^2) + eTM+eTN+eTO
    + eTP+eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK
eO2[i][13] ← eO3[i][13] * ((total_w-w13[i])/w_total^2) + eTN+eTO+eTP
    + eTA+eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL
eO2[i][14] ← eO3[i][14] * ((total_w-w14[i])/w_total^2) + eTO+eTP+eTA
    + eTB+eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM
eO2[i][15] ← eO3[i][15] * ((total_w-w15[i])/w_total^2) + eTP+eTA+eTB
    + eTC+eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN
eO2[i][16] ← eO3[i][16] * ((total_w-w16[i])/w_total^2) + eTA+eTB+eTC
    + eTD+eTE+eTF+eTG+eTH+eTI+eTJ+eTK+eTL+eTM+eTN+eTO
next i
return eO2 // output errorlayer2

```

Hasil dari perhitungan tersebut adalah seperti terlihat pada tabel pada lampiran 10.

5). Error pada lapisan 1

Propagasi error yang menuju lapisan pertama pada arus balik dirumuskan

sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon OI_i = & \varepsilon O2_a \left(\frac{\partial fO2_a}{\partial xOI_i} \right) + \varepsilon O2_b \left(\frac{\partial fO2_b}{\partial xOI_i} \right) + \varepsilon O2_c \left(\frac{\partial fO2_c}{\partial xOI_i} \right) + \\
 & \varepsilon O2_d \left(\frac{\partial fO2_d}{\partial xOI_i} \right) + \varepsilon O2_e \left(\frac{\partial fO2_e}{\partial xOI_i} \right) + \varepsilon O2_f \left(\frac{\partial fO2_f}{\partial xOI_i} \right) + \quad (3.12) \\
 & \varepsilon O2_g \left(\frac{\partial fO2_g}{\partial xOI_i} \right) + \varepsilon O2_h \left(\frac{\partial fO2_h}{\partial xOI_i} \right)
 \end{aligned}$$

dengan i adalah neuron pada layer 1 dan a, b, c, d, e, f, g, h adalah neuron pada layer 2 yang terkoneksi dengan neuron layer 1 tersebut. Sehingga perhitungan pada tiap neuron error lapisan 1 menjadi,

$$\begin{aligned}
 \varepsilon O1_1 &= \varepsilon O2_1(w_1 / \mu A_1) + \varepsilon O2_2(w_2 / \mu A_1) + \varepsilon O2_3(w_3 / \mu A_1) + \varepsilon O2_4(w_4 / \mu A_1) + \\
 &\quad \varepsilon O2_5(w_5 / \mu A_1) + \varepsilon O2_6(w_6 / \mu A_1) + \varepsilon O2_7(w_7 / \mu A_1) + \varepsilon O2_8(w_8 / \mu A_1) \\
 \varepsilon O1_2 &= \varepsilon O2_9(w_9 / \mu A_2) + \varepsilon O2_{10}(w_{10} / \mu A_2) + \varepsilon O2_{11}(w_{11} / \mu A_2) + \varepsilon O2_{12}(w_{12} / \mu A_2) + \\
 &\quad \varepsilon O2_{13}(w_{13} / \mu A_2) + \varepsilon O2_{14}(w_{14} / \mu A_2) + \varepsilon O2_{15}(w_{15} / \mu A_2) + \varepsilon O2_{16}(w_{16} / \mu A_2) \\
 \varepsilon O1_3 &= \varepsilon O2_1(w_1 / \mu B_1) + \varepsilon O2_2(w_2 / \mu B_1) + \varepsilon O2_3(w_3 / \mu B_1) + \varepsilon O2_4(w_4 / \mu B_1) + \\
 &\quad \varepsilon O2_9(w_9 / \mu B_1) + \varepsilon O2_{10}(w_{10} / \mu B_1) + \varepsilon O2_{11}(w_{11} / \mu B_1) + \varepsilon O2_{12}(w_{12} / \mu B_1) \\
 \varepsilon O1_4 &= \varepsilon O2_5(w_5 / \mu B_2) + \varepsilon O2_6(w_6 / \mu B_2) + \varepsilon O2_7(w_7 / \mu B_2) + \varepsilon O2_8(w_8 / \mu B_2) + \\
 &\quad \varepsilon O2_{13}(w_{13} / \mu B_2) + \varepsilon O2_{14}(w_{14} / \mu B_2) + \varepsilon O2_{15}(w_{15} / \mu B_2) + \varepsilon O2_{16}(w_{16} / \mu B_2) \\
 \varepsilon O1_5 &= \varepsilon O2_1(w_1 / \mu C_1) + \varepsilon O2_2(w_2 / \mu C_1) + \varepsilon O2_5(w_5 / \mu C_1) + \varepsilon O2_6(w_6 / \mu C_1) + \\
 &\quad \varepsilon O2_9(w_9 / \mu C_1) + \varepsilon O2_{10}(w_{10} / \mu C_1) + \varepsilon O2_{13}(w_{13} / \mu C_1) + \varepsilon O2_{14}(w_{14} / \mu C_1) \\
 \varepsilon O1_6 &= \varepsilon O2_3(w_3 / \mu C_2) + \varepsilon O2_4(w_4 / \mu C_2) + \varepsilon O2_7(w_7 / \mu C_2) + \varepsilon O2_8(w_8 / \mu C_2) + \\
 &\quad \varepsilon O2_{11}(w_{11} / \mu C_2) + \varepsilon O2_{12}(w_{12} / \mu C_2) + \varepsilon O2_{15}(w_{15} / \mu C_2) + \varepsilon O2_{16}(w_{16} / \mu C_2) \\
 \varepsilon O1_7 &= \varepsilon O2_1(w_1 / \mu D_1) + \varepsilon O2_3(w_3 / \mu D_1) + \varepsilon O2_5(w_5 / \mu D_1) + \varepsilon O2_7(w_7 / \mu D_1) + \\
 &\quad \varepsilon O2_9(w_9 / \mu D_1) + \varepsilon O2_{11}(w_{11} / \mu D_1) + \varepsilon O2_{13}(w_{13} / \mu D_1) + \varepsilon O2_{15}(w_{15} / \mu D_1) \\
 \varepsilon O1_8 &= \varepsilon O2_2(w_2 / \mu D_1) + \varepsilon O2_4(w_4 / \mu D_1) + \varepsilon O2_6(w_6 / \mu D_1) + \varepsilon O2_8(w_8 / \mu D_1) + \\
 &\quad \varepsilon O2_{10}(w_{10} / \mu D_1) + \varepsilon O2_{12}(w_{12} / \mu D_1) + \varepsilon O2_{14}(w_{14} / \mu D_1) + \varepsilon O2_{16}(w_{16} / \mu D_1)
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan tersebut adalah seperti terlihat pada tabel 3.10.

Tabel 3.10 Hasil Perhitungan Error Lapisan ke-1

No.	εOI_1	εOI_2	εOI_3	εOI_4	εOI_5	εOI_6	εOI_7	εOI_8
1.	2.26 E-12	-3.16 E-13	-4.87 E-13	4.89 E-12	-1.39 E-12	9.42 E-12	-5.37 E-13	3.39 E-12
2.	8.82 E-13	-1.76 E-13	-2.75 E-12	5.77 E-13	-2.93 E-13	9.69 E-14	-1.64 E-12	2.44 E-12
3.	1.42 E-11	-1.43 E-11	7.31 E-12	-2.18 E-12	6.93 E-12	-1.17 E-11	-6.07 E-12	4.08 E-12
4.	3.12 E-12	-4.31 E-12	9.82 E-12	-2.77 E-12	8.52 E-12	-9.44 E-12	-1.66 E-12	1.45 E-13
5.	5.38 E-13	-2.44 E-12	1.82 E-11	-4.72 E-12	1.38 E-11	-2.31 E-11	-3.32 E-11	4.95 E-11

Pseudocode dari perhitungan error layer 1 tersebut adalah sebagai berikut :

```

Function errorlayer1
input: miuA1,miuA2,miuB1,miuB2,           // output dari layer1
       miuC1,miuC2,miuD1,miuD2
input: w1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,      // output dari layer2
       w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16
input: eO2                                // output dari errorlayer2
for i←1m to 5
eO1[i][1]←eO2[i][1]*(w1[i]/miuA1[i])+eO2[i][2]*(w2[i]/miuA1[i]+
                     eO2[i][3]*(w3[i]/miuA1[i])+eO2[i][4]*(w4[i]/miuA1[i])+
                     eO2[i][5]*(w5[i]/miuA1[i])+eO2[i][6]*(w6[i]/miuA1[i])+
                     eO2[i][7]*(w7[i]/miuA1[i])+eO2[i][8]*(w8[i]/miuA1[i])
eO1[i][2]←eO2[i][9]*(w9[i]/miuA2[i])+eO2[i][10]*(w10[i]/miuA2[i])+
                     eO2[i][11]*(w11[i]/miuA2[i])+eO2[i][12]*(w12[i]/miuA2[i])+
                     eO2[i][13]*(w13[i]/miuA2[i])+eO2[i][14]*(w14[i]/miuA2[i])+
                     eO2[i][15]*(w15[i]/miuA2[i])+eO2[i][16]*(w16[i]/miuA2[i])
eO1[i][3]←eO2[i][1]*(w1[i]/miuB1[i])+eO2[i][2]*(w2[i]/miuB1[i])+
                     eO2[i][3]*(w3[i]/miuB1[i])+eO2[i][4]*(w4[i]/miuB1[i])+
                     eO2[i][9]*(w9[i]/miuB1[i])+eO2[i][10]*(w10[i]/miuB1[i])+
                     eO2[i][11]*(w11[i]/miuB1[i])+eO2[i][12]*(w12[i]/miuB1[i])
eO1[i][4]←eO2[i][5]*(w5[i]/miuB2[i])+eO2[i][6]*(w6[i]/miuB2[i])+
                     eO2[i][7]*(w7[i]/miuB2[i])+eO2[i][8]*(w8[i]/miuB2[i])+
                     eO2[i][13]*(w13[i]/miuB2[i])+eO2[i][14]*(w14[i]/miuB2[i])+
                     eO2[i][15]*(w15[i]/miuB2[i])+eO2[i][16]*(w16[i]/miuB2[i])
eO1[i][5]←eO2[i][1]*(w1[i]/miuC1[i])+eO2[i][2]*(w2[i]/miuC1[i])+
                     eO2[i][5]*(w5[i]/miuC1[i])+eO2[i][6]*(w6[i]/miuC1[i])+
                     eO2[i][9]*(w9[i]/miuC1[i])+eO2[i][10]*(w10[i]/miuC1[i])+
                     eO2[i][13]*(w13[i]/miuC1[i])+eO2[i][14]*(w14[i]/miuC1[i])
eO1[i][6]←eO2[i][3]*(w3[i]/miuC2[i])+eO2[i][4]*(w4[i]/miuC2[i])+
                     eO2[i][7]*(w7[i]/miuC2[i])+eO2[i][8]*(w8[i]/miuC2[i])+
                     eO2[i][11]*(w11[i]/miuC2[i])+eO2[i][12]*(w12[i]/miuC2[i])+
                     eO2[i][15]*(w15[i]/miuC2[i])+eO2[i][16]*(w16[i]/miuC2[i])
eO1[i][7]←eO2[i][1]*(w1[i]/miuD1[i])+eO2[i][3]*(w3[i]/miuD1[i])+
                     eO2[i][5]*(w5[i]/miuD1[i])+eO2[i][7]*(w7[i]/miuD1[i])+
                     eO2[i][9]*(w9[i]/miuD1[i])+eO2[i][11]*(w11[i]/miuD1[i])+
                     eO2[i][13]*(w13[i]/miuD1[i])+eO2[i][15]*(w15[i]/miuD1[i])
eO1[i][8]←eO2[i][2]*(w2[i]/miuD2[i])+eO2[i][4]*(w4[i]/miuD2[i])+
                     eO2[i][6]*(w6[i]/miuD2[i])+eO2[i][8]*(w8[i]/miuD2[i])+
                     eO2[i][10]*(w10[i]/miuD2[i])+eO2[i][12]*(w12[i]/miuD2[i])+
                     eO2[i][14]*(w14[i]/miuD2[i])+eO2[i][16]*(w16[i]/miuD2[i])
next i
return eO1    //output errorlayer1

```

Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai error pada parameter a dan c, untuk parameter a (a₁, a₂, a₃, a₄, a₅, a₆, a₇ dan a₈) dengan nilai i = 1,2,3,4 ; j = 1,3,5,7 ; dan k = 2,4,6,8 dirumuskan seperti pada persamaan 3.13 dan 3.14.

$$\varepsilon a_j = (\varepsilon OI_j) \frac{2(x_i - c_j)^2}{a_j^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_j}{a_j} \right)^2 \right)^2} \quad (3.13)$$

$$\varepsilon a_k = (\varepsilon OI_k) \frac{2(x_i - c_k)^2}{a_k^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_k}{a_k} \right)^2 \right)^2} \quad (3.14)$$

Sehingga perhitungan pada tiap error parameter a menjadi,

$$\varepsilon a_1 = (\varepsilon OI_1) \frac{2(x_1 - c_1)^2}{a_1^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_1}{a_1} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_3 = (\varepsilon OI_3) \frac{2(x_2 - c_3)^2}{a_3^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_3}{a_3} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_5 = (\varepsilon OI_5) \frac{2(x_3 - c_5)^2}{a_5^3 \left(1 + \left(\frac{x_3 - c_5}{a_5} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_7 = (\varepsilon OI_7) \frac{2(x_4 - c_7)^2}{a_7^3 \left(1 + \left(\frac{x_4 - c_7}{a_7} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_2 = (\varepsilon OI_2) \frac{2(x_1 - c_2)^2}{a_2^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_2}{a_2} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_4 = (\varepsilon OI_4) \frac{2(x_2 - c_4)^2}{a_4^3 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_4}{a_4} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_6 = (\varepsilon OI_6) \frac{2(x_3 - c_6)^2}{a_6^3 \left(1 + \left(\frac{x_3 - c_6}{a_6} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon a_8 = (\varepsilon OI_8) \frac{2(x_4 - c_8)^2}{a_8^3 \left(1 + \left(\frac{x_4 - c_8}{a_8} \right)^2 \right)^2}$$

Pseudocode perhitungan error parameter premis a adalah sebagai berikut :

```
Function errorpremis a
input: x1,x2,x3,x4
input: parameter premis a dan c
input: e01 //output dari errorlayer1
for i←1 to 5
ea[i][1]←e01[i][1]* (2*(x1[i]-c1)^2)/a1^3*(1+((x1[i]-c1)/a1)^2)^2
ea[i][2]←e01[i][2]* (2*(x1[i]-c2)^2)/a2^3*(1+((x1[i]-c2)/a2)^2)^2
ea[i][3]←e01[i][3]* (2*(x2[i]-c3)^2)/a3^3*(1+((x2[i]-c3)/a3)^2)^2
ea[i][4]←e01[i][4]* (2*(x2[i]-c4)^2)/a4^3*(1+((x2[i]-c4)/a4)^2)^2
ea[i][5]←e01[i][5]* (2*(x3[i]-c5)^2)/a5^3*(1+((x3[i]-c5)/a5)^2)^2
ea[i][6]←e01[i][6]* (2*(x3[i]-c6)^2)/a6^3*(1+((x3[i]-c6)/a6)^2)^2
ea[i][7]←e01[i][7]* (2*(x4[i]-c7)^2)/a7^3*(1+((x4[i]-c7)/a7)^2)^2
ea[i][8]←e01[i][8]* (2*(x4[i]-c8)^2)/a8^3*(1+((x4[i]-c8)/a8)^2)^2
next i
return ea //output errorpremis a
```

Sedangkan persamaan pencarian nilai error pada parameter c (c1, c2, c3, c4, c5, c6, c7 dan c8) dengan nilai i = 1,2,3,4 ; j = 1,3,5,7 ; dan k = 2,4,6,8 adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon c_j = (\varepsilon OI_j) \frac{2(x_i - c_j)}{a_j^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_j}{a_j} \right)^2 \right)^2} \quad (3.15)$$

$$\varepsilon c_k = (\varepsilon OI_k) \frac{2(x_i - c_k)}{a_k^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_k}{a_k} \right)^2 \right)^2} \quad (3.16)$$

Sehingga perhitungan pada tiap error parameter c menjadi,

$$\varepsilon c_1 = (\varepsilon OI_1) \frac{2(x_1 - c_1)}{a_1^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_1}{a_1} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_3 = (\varepsilon OI_3) \frac{2(x_2 - c_3)}{a_3^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_3}{a_3} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_5 = (\varepsilon OI_5) \frac{2(x_3 - c_5)}{a_5^2 \left(1 + \left(\frac{x_3 - c_5}{a_5} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_7 = (\varepsilon OI_7) \frac{2(x_4 - c_7)}{a_7^2 \left(1 + \left(\frac{x_4 - c_7}{a_7} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_2 = (\varepsilon OI_2) \frac{2(x_1 - c_2)}{a_2^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_2}{a_2} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_4 = (\varepsilon OI_4) \frac{2(x_2 - c_4)}{a_4^2 \left(1 + \left(\frac{x_2 - c_4}{a_4} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_6 = (\varepsilon OI_6) \frac{2(x_3 - c_6)}{a_6^2 \left(1 + \left(\frac{x_3 - c_6}{a_6} \right)^2 \right)^2}$$

$$\varepsilon c_8 = (\varepsilon OI_8) \frac{2(x_4 - c_8)}{a_8^2 \left(1 + \left(\frac{x_4 - c_8}{a_8} \right)^2 \right)^2}$$

Pseudocode perhitungan error parameter premis c adalah sebagai berikut :

```

Function errorpremis c
input: x1,x2,x3,x4
input: parameter premis a dan c
input: e01 //output dari errorlayer1
for i←1 to 5
    ec[i][1]←e01[i][1]* (2*(x1[i]-c1))/a1^2*(1+((x1[i]-c1)/a1)^2)^2
    ec[i][2]←e01[i][2]* (2*(x1[i]-c2))/a2^2*(1+((x1[i]-c2)/a2)^2)^2
    ec[i][3]←e01[i][3]* (2*(x2[i]-c3))/a3^2*(1+((x2[i]-c3)/a3)^2)^2
    ec[i][4]←e01[i][4]* (2*(x2[i]-c4))/a4^2*(1+((x2[i]-c4)/a4)^2)^2

```

```

ec[i][5] ← e01[i][5] * (2 * (x3[i]-c5)) / a5^2 * (1 + ((x3[i]-c5) / a5)^2)^2
ec[i][6] ← e01[i][6] * (2 * (x3[i]-c6)) / a6^2 * (1 + ((x3[i]-c6) / a6)^2)^2
ec[i][7] ← e01[i][7] * (2 * (x4[i]-c7)) / a7^2 * (1 + ((x4[i]-c7) / a7)^2)^2
ec[i][8] ← e01[i][8] * (2 * (x4[i]-c8)) / a8^2 * (1 + ((x4[i]-c8) / a8)^2)^2
next i
return ec //output error premis c

```

Hasil dari perhitungan lengkap dari error parameter a dan c tersebut dapat dilihat pada tabel lampiran 11. Kemudian ditentukan perubahan nilai parameter a_{ij} dan c_{ij} (Δa_{ij} dan Δc_{ij}) sebagai berikut :

$$\Delta a_{ij} = \varepsilon a_{ij} x_i \quad (3.17)$$

$$\Delta c_{ij} = \varepsilon c_{ij} x_i \quad (3.18)$$

Setelah itu dilakukan perhitungan dengan persamaan 3.19 dan 3.20. Sehingga nilai a_{ij} dan c_{ij} yang baru adalah seperti yang terlihat pada tabel lampiran 12 dan 13.

$$a_{ij} = a_{ij} (\text{lama}) + \Delta a_{ij} \quad (3.19)$$

$$c_{ij} = c_{ij} (\text{lama}) + \Delta c_{ij} \quad (3.20)$$

Pseudocode update parameter premis a dan c adalah sebagai berikut :

<pre> Function update premis a input: ea,x1,x2,x3,x4 for i←1 to 5 delta_a[i][1] ← ea[i][1]*x1 delta_a[i][2] ← ea[i][2]*x1 delta_a[i][3] ← ea[i][3]*x2 delta_a[i][4] ← ea[i][4]*x2 delta_a[i][5] ← ea[i][5]*x3 delta_a[i][6] ← ea[i][6]*x3 delta_a[i][7] ← ea[i][7]*x4 delta_a[i][8] ← ea[i][8]*x4 a_new[i][1] ← a1+delta_a[i][1] a_new[i][2] ← a2+delta_a[i][2] a_new[i][3] ← a3+delta_a[i][3] a_new[i][4] ← a4+delta_a[i][4] a_new[i][5] ← a5+delta_a[i][5] a_new[i][6] ← a6+delta_a[i][6] a_new[i][7] ← a7+delta_a[i][7] a_new[i][8] ← a8+delta_a[i][8] next i return a_new //output update a </pre>	<pre> Function update premis c input: ec,x1,x2,x3,x4 for i←1 to 5 delta_c[i][1] ← ec[i][1]*x1 delta_c[i][2] ← ec[i][2]*x1 delta_c[i][3] ← ec[i][3]*x2 delta_c[i][4] ← ec[i][4]*x2 delta_c[i][5] ← ec[i][5]*x3 delta_c[i][6] ← ec[i][6]*x3 delta_c[i][7] ← ec[i][7]*x4 delta_c[i][8] ← ec[i][8]*x4 c_new[i][1] ← a1+delta_c[i][1] c_new[i][2] ← a2+delta_c[i][2] c_new[i][3] ← a3+delta_c[i][3] c_new[i][4] ← a4+delta_c[i][4] c_new[i][5] ← a5+delta_c[i][5] c_new[i][6] ← a6+delta_c[i][6] c_new[i][7] ← a7+delta_c[i][7] c_new[i][8] ← a8+delta_c[i][8] next i return c_new //output update c </pre>
--	--

Tabel 3.11 Output layer 5

No.	Nilai O5 sebelum update	Nilai O5 pada epoh 30
1.	0.9999999999989918	0.999999999992837
2.	0.0000000000005040	-0.0000000000017791
3.	-0.0000000000021631	-0.0000000000035846
4.	0.9999999999979314	0.9999999999961449
5.	0.9999999999972720	0.9999999999972279

Setelah didapatkan a_{ij} dan c_{ij} yang baru, kemudian a_{ij} dan c_{ij} yang baru ini dihitung ulang menggunakan persamaan 3.6 sampai 3.10. Sehingga didapatkan hasil perhitungan ANFIS yang baru setelah update parameter seperti yang terlihat pada tabel 3.11.

3.3.4 Desain Database

1. Tabel anatomic index

Tabel ini digunakan untuk menyimpan nilai-nilai anatomic index, nilai target output, nilai hasil deteksi dan nilai error. Struktur tabel anatomic index ini adalah seperti pada tabel 3.12.

Tabel 3.12 Tabel anatomic index

Nama Field	Tipe	Keterangan
no	int (3)	-
id_dpr	int (3)	-
index_1	double	-
index_2	double	-
index_3	double	-
index_4	double	-
target_output	varchar (6)	normal / osteo
hasil_deteksi	varchar (6)	normal / osteo
nilai_error	double	-

Tabel 3.13 Tabel premis

Nama Field	Tipe	Keterangan
no	int (3)	-
a1	double	-
a2	double	-
a3	double	-
a4	double	-
a5	double	-
a6	double	-
a7	double	-
a8	double	-
c1	double	-
c2	double	-
c3	double	-
c4	double	-
c5	double	-
c6	double	-
c7	double	-
c8	double	-

2. Tabel premis

Tabel ini digunakan untuk menyimpan nilai-nilai parameter premis yang digunakan pada proses ANFIS alur maju dan dapat diupdate pada saat alur balik.

Struktur tabel premis ini dapat dilihat pada tabel 3.13.

3. Tabel konsekuensi

Tabel ini digunakan untuk menyimpan nilai-nilai parameter konsekuensi yang digunakan pada proses ANFIS alur maju dan dapat diupdate pada saat alur balik serta digunakan dalam fase testing ANFIS. Struktur tabel konsekuensi ini dapat dilihat pada tabel 3.14.

Tabel 3.14 Tabel konsekuensi

Nama Field	Tipe	Keterangan
no	int (3)	-
p	double	-
q	double	-
r	double	-
s	double	-
t	double	-

Tabel 3.16 Tabel temp_test

Nama Field	Tipe	Keterangan
no	int (3)	-
index_1	double	-
index_2	double	-
index_3	double	-
index_4	double	-
hasil_deteksi	varchar (6)	-
nilai_error	double	-

4. Tabel temp_test

Tabel ini digunakan untuk menyimpan sementara nilai-nilai anatomic index, nilai target output, nilai hasil deteksi dan nilai error pada fase testing. Struktur tabel temp_test ini adalah seperti pada tabel 3.16.

3.3.5 Desain Interface

Aplikasi ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman java dan menggunakan IDE Netbeans 7.0.1 dan JDK 1.7. Aplikasi terdiri dari 2 form utama dan 1 form bantuan, form utama terdiri dari form training dan form testing.



Gambar 3.13 Form training

3.3.5.1 Form Training

Form training seperti yang terlihat dalam gambar 3.13 berisi inputan hasil pengukuran bagian-bagian dari *Dental Panoramic Radiograph* yaitu Ra, pa, ph, pf, VA, Va, VH, Vh, VF, Vf, MI, h, dan nilai target output yang diharapkan. Di dalam form training juga menampilkan nilai-nilai keempat anatomic index dan target output dari tabel anatomic index yang tersimpan dalam database.

Proses yang ada di dalam form ini adalah proses input hasil pengukuran dan proses training. Proses input hasil pengukuran ini melakukan penghitungan untuk mendapatkan nilai anatomic index dan menyimpannya ke dalam database. Sedangkan proses training melakukan training data anatomic index yang diambil

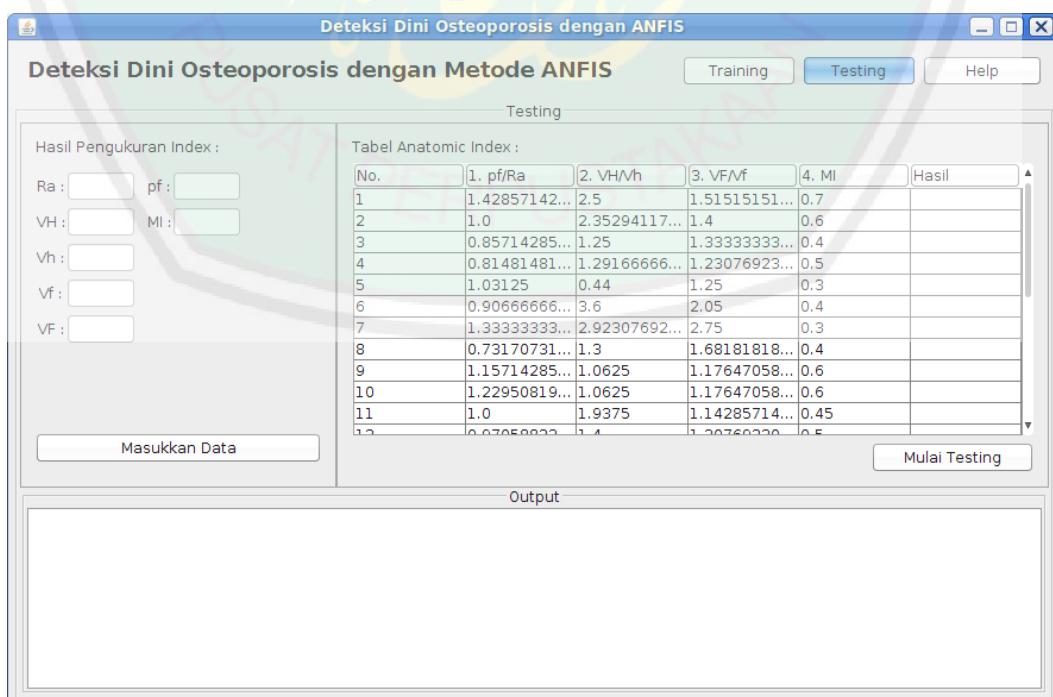
dari database, kemudian hasilnya disimpan kembali dalam database dan ditampilkan dalam text area hasil.

3.3.5.2 Form Testing

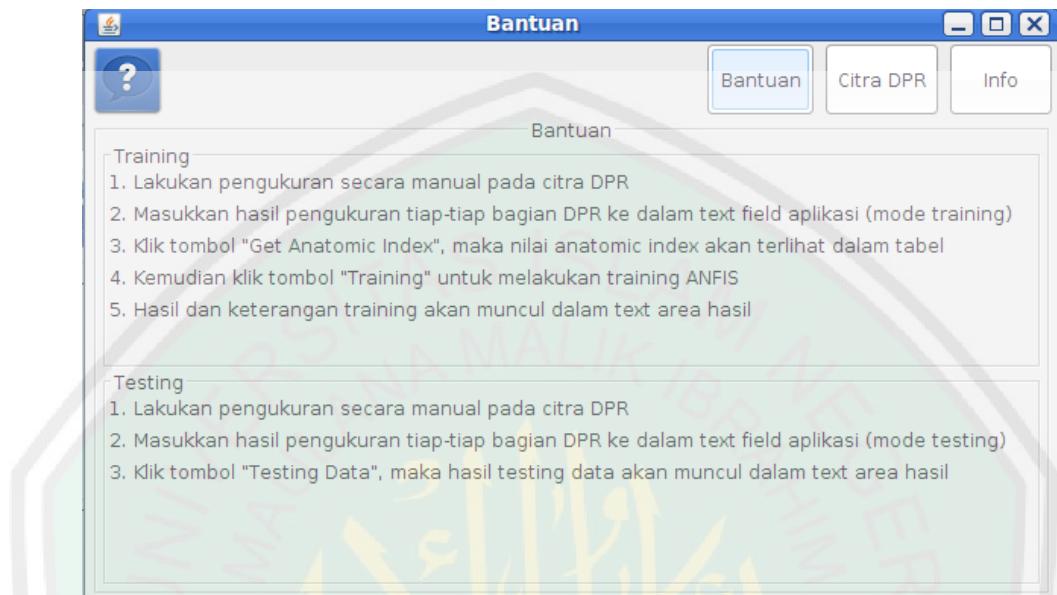
Form testing seperti yang terlihat pada gambar 3.14 berisi inputan hasil pengukuran bagian-bagian dari *Dental Panoramic Radiograph* yaitu Ra, pa, ph, pf, VA, Va, VH, Vh, VF, Vf, MI, h, untuk kemudian dilakukan perhitungan nilai-nilai anatomic index-nya dan dilanjutkan dengan proses perhitungan di dalam ANFIS.

3.3.5.3 Form Bantuan

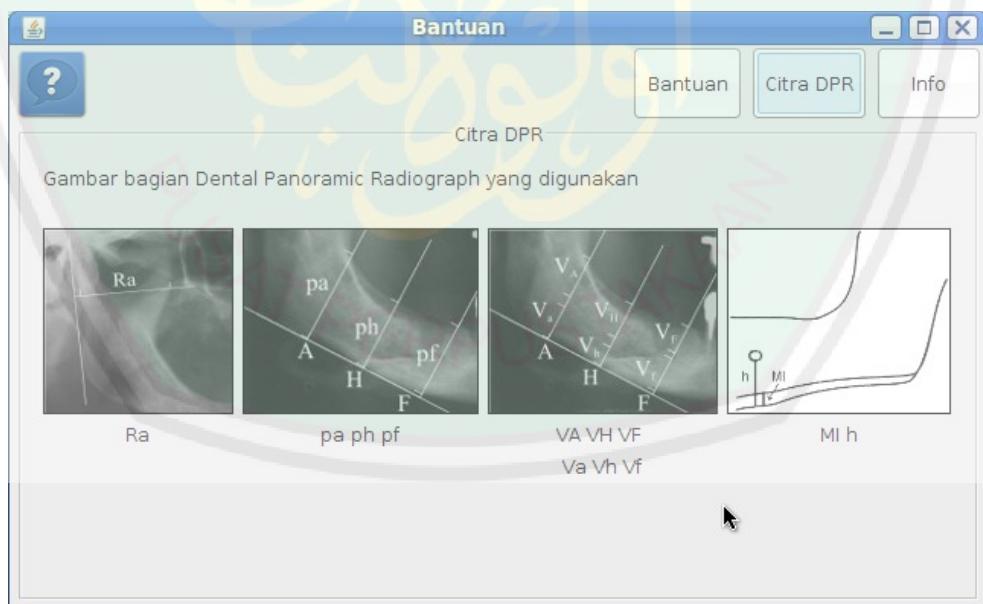
Form ini berisi bantuan cara penggunaan aplikasi (gambar 3.15), info bagian-bagian citra *Dental Panoramic Radiograph* yang digunakan sebagai anatomic index (gambar 3.14), dan info pembuat aplikasi (gambar 3.16).



Gambar 3.14 Form testing



Gambar 3.14 Form bantuan cara penggunaan aplikasi



Gambar 3.15 Form info bagian citra DPR yang digunakan



Gambar 3.16 Info pembuat program

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lingkungan Implementasi

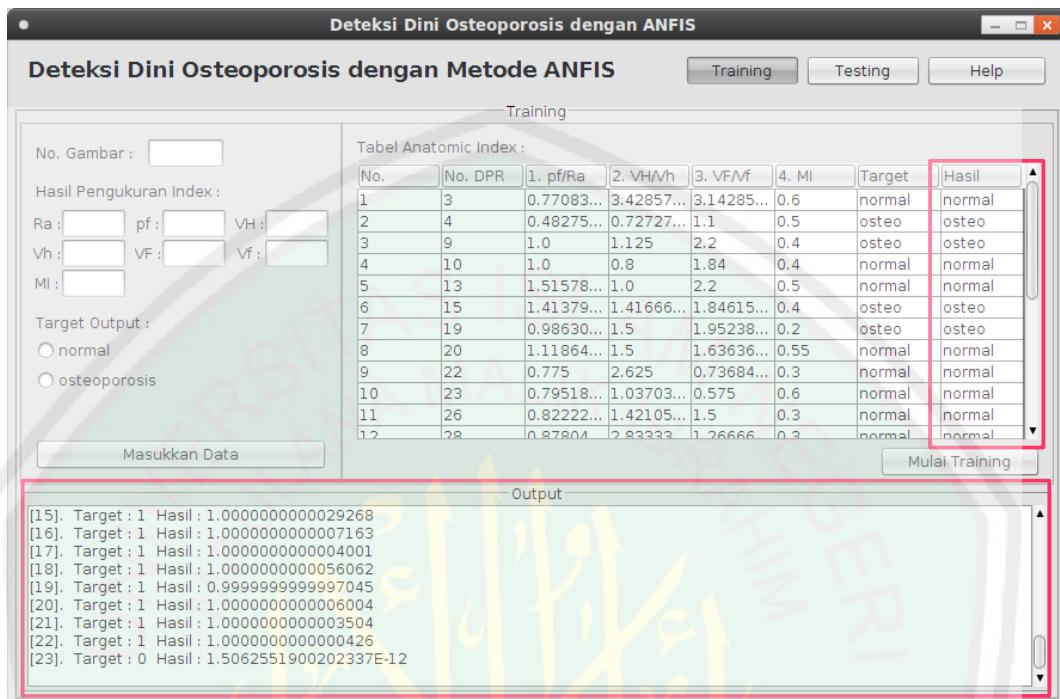
Implementasi sistem merupakan sebuah proses pembuatan dan penerapan sistem secara utuh baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunaknya. Di dalam implementasi ini terdapat lingkungan perangkat keras dan lingkungan perangkat lunak yang mendukung kinerja sistem.

Spesifikasi dari perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam uji coba “Deteksi Dini Osteoporosis dengan Metode ANFIS” ini adalah:

1. Laptop Samsung N-100
2. Processor Intel Atom Dual Core N435 @1.33 GHz
3. RAM 1 GB
4. Sistem operasi Linux Blankon 7 Pattimura
5. JRE (Java Runtime Environment) versi 1.7
6. Netbeans versi 7.0.1
7. PhpMyAdmin 3.2.4

4.2 Hasil Output Program

Output dari program “Deteksi Dini Osteoporosis dengan Metode ANFIS” ini adalah sebuah keterangan dari program bahwa hasil dari data yang telah diinputkan terdeteksi sebagai osteoporosis atau normal.



Gambar 4.1 Output hasil training ANFIS

1. Fase Training

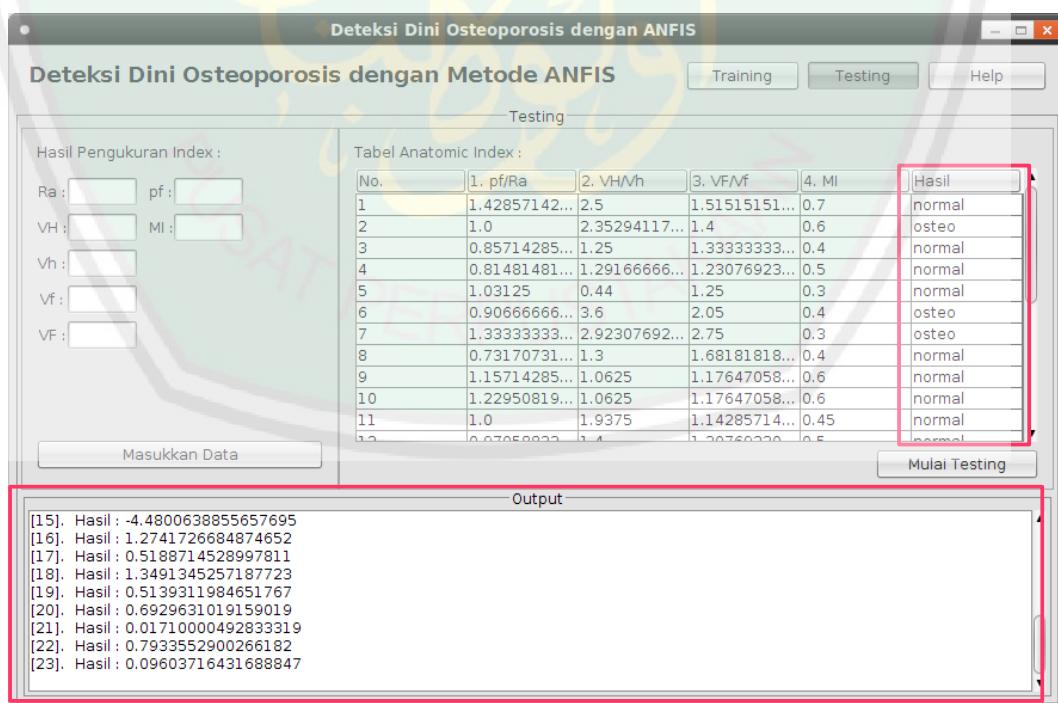
Hasil output dari ANFIS fase training ditampilkan dalam tabel dan text area yang terdapat dalam aplikasi ‘‘Deteksi Dini Osteoporosis dengan Metode ANFIS’’ ini. Output jaringan ANFIS yang berupa sebuah nilai angka dikonversi menjadi sebuah pernyataan apakah data yang diinputkan termasuk data osteoporosis ataukah data normal. Ditampilkannya output ke dalam tabel yang sama dengan data dan nilai target yang diinputkan dapat memudahkan pengguna untuk membandingkan hasil output program deteksi osteoporosis ini dengan target yang diharapkan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1, output deteksi osteoporosis pada aplikasi ini juga ditampilkan dalam text area yang terdapat di bagian bawah

dari program deteksi osteoporosis ini. Output yang ditampilkan pada text area ini berupa nilai-nilai target dan nilai-nilai hasil output jaringan, sehingga pengguna dapat mengetahui perbandingan nilai antara target dan hasil deteksi. Untuk hasil training selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 14.

2. Fase Testing

Output pada fase testing juga ditampilkan di dalam tabel yang sama dengan tabel anatomic index sehingga memudahkan pengguna untuk mengetahui hasil deteksi dari data yang diinputkan. Seperti yang terlihat pada gambar 4.2, output juga ditampilkan ke dalam text area untuk mengetahui nilai output hasil testing ANFIS.



Gambar 4.2 Output hasil testing ANFIS

Tabel 4.1 Perbandingan target dan output pada fase testing

No.	Target		Output Fase Testing	
	Hasil	Keterangan	Hasil	Keterangan
1.	1	normal	0.6869	normal
2.	1	normal	0.4364	osteoporosis
3.	1	normal	0.835	normal
4.	1	normal	1.138	normal
5.	0	osteoporosis	1.907	normal
6.	1	normal	-0.111	osteoporosis
7.	0	osteoporosis	-0.5792	osteoporosis
8.	1	normal	0.8182	normal
9.	1	normal	1.6023	normal
10.	1	normal	1.3551	normal
11.	1	normal	0.9186	normal
12.	1	normal	1.2508	normal
13.	1	normal	1.276	normal
14.	1	normal	0.6386	normal
15.	0	osteoporosis	-4.48	osteoporosis
16.	1	normal	1.2741	normal
17.	0	osteoporosis	0.5188	normal
18.	0	osteoporosis	1.3491	normal
19.	1	normal	0.5139	normal
20.	1	normal	0.6929	normal
21.	1	normal	0.0171	osteoporosis
22.	1	normal	0.7933	normal
23.	1	normal	0.096	osteoporosis

4.3 Evaluasi Program

Untuk menguji keakuratan deteksi osteoporosis menggunakan metode ANFIS ini dilakukanlah perbandingan antara hasil deteksi osteoporosis pada fase testing dengan hasil output deteksi yang diharapkan. Pada tabel 4.1 ditunjukkan perbandingan target output dari data yang diinputkan dengan hasil output dari fase

testing. Dalam tabel tersebut dapat dilihat adanya perbedaan hasil antara target yang diharapkan dengan output yang dihasilkan dari fase testing ANFIS.

Berdasarkan data target dan hasil output fase testing pada tabel 4.1 akan dilakukan perhitungan nilai presicion, recall dan accuracy pada hasil deteksi osteoporosis dengan metode ANFIS ini. Precision adalah tingkat ketepatan antara hasil yang diminta oleh user dengan hasil output dari sistem. Sedangkan recall adalah tingkat keberhasilan sistem dalam menemukan kembali informasi yang sesuai. Kemudian accuracy adalah tingkat keakuratan antara nilai output sistem dengan nilai target yang sebenarnya. Nilai precision, recall, dan accuracy dapat dihitung dengan menggunakan tabel ketergantungan seperti tabel 4.2.

Perhitungan menentukan precision, recall, dan accuracy menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Precision} (P) = \frac{tp}{(tp + fp)} \quad (4.1)$$

$$\text{Recall} (R) = \frac{tp}{(tp + fn)} \quad (4.2)$$

$$\text{Accuracy} (A) = \frac{(tp + tn)}{N} \quad (4.3)$$

dengan N adalah jumlah data yang digunakan dalam percobaan deteksi osteoporosis ini.

Tabel 4.2 Tabel ketergantungan

	Relevant	nonrelevant
retrieved	true positives (tp)	false positives (fp)
not retrieved	false negative (fn)	true negatives (tn)

Tabel 4.3 Tabel ketergantungan hasil deteksi osteoporosis

	Normal	Osteoporosis
Normal	14	4
Osteoporosis	3	2

Pada tabel 4.3 ditampilkan tabel ketergantungan dari hasil deteksi osteoporosis menggunakan metode ANFIS yang telah diujicoba oleh peneliti. Sehingga perhitungan untuk pengujian deteksi osteoporosis menggunakan metode ANFIS dengan tabel ketergantungan seperti pada tabel 4.3 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Precision (P) &= \frac{tp}{(tp + fp)} = \frac{14}{(14 + 4)} = \frac{14}{18} = 0,7778 \\ Recall (R) &= \frac{tp}{(tp + fn)} = \frac{14}{(14 + 3)} = \frac{14}{17} = 0,8235 \\ Accuracy (A) &= \frac{(tp + tn)}{N} = \frac{(14 + 2)}{23} = \frac{16}{23} = 0,6956 \end{aligned}$$

Dari perhitungan dengan 23 data ujicoba untuk deteksi osteoporosis didapatkan nilai precision sebesar 0,7778 atau 77,78%, nilai recall sebesar 0,8235 atau 82,35%, dan nilai accuracy sebesar 0,6956 atau 69,56%.

4.4 Integrasi Deteksi Osteoporosis dengan Islam

Rasulullah bersabda untuk merebut lima hal sebelum datangnya lima hal lainnya dalam hadist yang diriwayatkan oleh Baihaqi dan Ibnu Abbas berikut ini :

إِغْتِنِمْ خَمْسًا قَبْلَ خَمْسٍ : حَيَاتَكَ قَبْلَ مَوْتَكَ، وَصِحَّتَكَ قَبْلَ سُقْمِكَ، وَفَرَغَكَ قَبْلَ شُغْلِكَ، وَشَبَابَكَ قَبْلَ هَرَمِكَ وَغِنَاكَ قَبْلَ فَقْرِكَ (رواه البيهقي عن أبي عباس)

“Rebutlah lima sebelum datang lima : hidup sebelum mati, kesehatan sebelum sakit, waktu terluang sebelum kesibukan, muda sebelum usia tua dan kekayaan sebelum miskin.” (Diriwayatkan oleh Baihaqi dan Ibnu Abas)

Dua diantara kelima pesan tersebut adalah merebut waktu sehat sebelum sakit dan waktu muda sebelum tua. Pesan tersebut menunjukkan bahwa Rasulullah SAW. menyuruh umatnya untuk menjaga kesehatannya dan memanfaatkan masa mudanya dengan sebaik-baiknya.

Salah satu bentuk untuk merebut waktu sehat sebelum sakit adalah dengan memelihara kesehatan dan segera berobat bila menderita sakit. Pemeriksaan kesehatan secara rutin juga diperlukan agar penyakit dapat terdeteksi lebih dini. Oleh karena itu dengan adanya program deteksi osteoporosis ini diharapkan dapat mendeteksi apakah pasien menderita osteoporosis atau tidak sehingga dapat pasien yang terdeteksi osteoporosis dapat segera diobati.

Program deteksi dini osteoporosis dengan metode ANFIS ini dapat mendeteksi osteoporosis dengan tingkat keakurasian sebesar 69,56%. Sehingga dengan penggunaan program ini diharapkan dapat meningkatkan kesehatan masyarakat khususnya dalam hal penyakit osteoporosis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian dan pembuatan program “Deteksi Dini Osteoporosis dengan Metode ANFIS”, pada fase training diperoleh nilai hasil yang hampir sesuai dengan nilai target output. Sedangkan pada fase testing diperoleh 16 hasil yang sesuai dan 7 hasil yang tidak sesuai target. Kemudian hasil perhitungan presicion, recall, dan accuracy dengan data sejumlah 23 data anatomic index didapatkan nilai precision sebesar 0,7778 atau 77,78%, nilai recall sebesar 0,8235 atau 82,35%, dan nilai accuracy sebesar 0,6956 atau 69,56%.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang bisa dikembangkan dari penelitian ini, antara lain,

1. Pengukuran anatomic index dari citra Dental Panoramic Radiograph masih memiliki kekurangan pada keakuratan hasil pengukuran secara manual, sehingga pada penelitian kedepannya bisa dikembangkan dengan melakukan pengukuran citra Dental Panoramic Radiograph secara otomatis.
2. Sebelum dilakukan pengukuran anatomic index sebaiknya citra Dental Panoramic Radiograph dilakukan perbaikan citra untuk memperjelas gambar. Hal ini dikarenakan beberapa bagian gambar pada citra Dental Panoramic Radiograph terkadang kurang jelas sehingga peneliti mengalami kesulitan untuk menentukan batas dari anatomic index yang akan diukur.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Agus Zainal, Akira Asano, Akira Taguchi, Takashi Nakamoto, Masahiko Ohtsuka, dan Keiji Tanimoto. 2005. *Computer-aided system for measuring the mandibular cortical width on panoramic radiographs in osteoporosis diagnosis*. SPIE Volume 5747 Halaman 813-821.
- Bozic, M dan N Ihan Hren. 2005. *Osteoporosis and mandibles*. Dentomaxillo-facial Radiology Volume 35 Halaman 178-184.
- HS, Fachruddin dan Irfan Fachruddin, SH. 1996. *Pilihan Sabda Rasul (Hadis-Hadis Pilihan)*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Jang, JSR. 1993. *ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference Systems*. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Vol.23 No.03.
- Jang, JSR, Sun, CT, dan Mizutani, E. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. London: Prentice-Hall.
- John, John R. 2008. *Essentials of Dental Radiology*. New Delhi: Jaypee Brother Publisher.
- Kemenkes. 2008. *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia NO.1142/MENKES/SK/XII/2008 Tentang Pedoman Pengendalian Osteoporosis*. Jakarta: Kemenkes.
- Kusumadewi, Sri, dan Sri Hartati. 2006. Neuro Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Looker, Anne C., Lori G. Borrud, Bess Dawson-Hughes, John A. Shepherd, dan Nicole C. Wright. 2012. *Osteoporosis or Low Bone Mass at the Femur Neck or Lumbar Spine in Older Adults: United States, 2005-2008*. Hyattsville: U.S. Department Of Health & Human Services.
- Negnevitsky, Michael. 2005. *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*. Harlow, England: Addison-Wesley.
- Setyaningrum, Ratih. 2007. *Kemampuan Expert System - ANFIS Untuk Diagnosa Kesehatan Pekerja Industri Dan Mencari Solusinya*. Yogyakarta: Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI).
- Sri Widodo, Thomas. 2005. *Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Purwoastuti, Endang. 2009. *Waspada! Osteoporosis*. Yogyakarta: Kanisius.
- Taguchi, Akira, Mikio Tsuda, Masahiko Ohtsuka , Ichiro Kodama, Mitsuhiro Sanada, Takashi Nakamoto , Koji Inagaki, Toshihide Noguchi, Yoshiki Kudo , Yoshikazu Suei, Keiji Tanimoto, Anne-Marie Bollen . 2005. *Use of dental panoramic radiographs in identifying younger postmenopausal women with osteoporosis*. International Osteoporosis Foundation and National Osteoporosis Foundation. Volume 17 Halaman 387 – 394.
- Tjahjono, Anang, Entin Martiana, dan Taufan Harsilo Ardhinata. 2011. *Sistem Pengambilan Keputusan Persebaran Penyakit dan Distribusi Obat Dalam Kabupaten/Kotamadya*. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Wirakusumah, Emma S. 2007. *Mencegah Osteoporosis lengkap dengan 39 jus & 38 resep masakan*. Jakarta: Penebar Plus.
- White, SC. 2005. *Change in mandibular trabecular pattern and hip fracture rate in elderly women*. Dentomaxillofacial Radiology. Volume 34, Halaman 168 - 174.
- WHO. 2007. *WHO Scientific Group on The Assessment of Osteoporosis at Primary Health Care Level*. Geneva: WHO.

Lampiran 1
Hasil Pengukuran Index Citra DPR

No.	pa	ph	pf	Ra	VA	Va	VH	Vh	VF	Vf	MI	h
1	3,3	3,4	3,4	3,85	1,5	-	-	-	1,9	1,7	0,3	1,8
2	3,35	3,7	4	4	1,4	1,5	-	-	1,3	1,5	0,3	1,5
3	3,3	3,4	3,7	4,8	1,75	1,25	2,4	0,7	2,2	0,7	0,6	1,8
4	2,75	2	2,1	4,35	1,25	1,2	0,8	1,1	1,1	1	0,5	1,2
5	2	3,2	2,2	2,8	1,5	1	-	1	1,5	1,5	0,5	1,65
6	3,2	3,5	3,8	2,75	1,4	1,3	-	-	2	1,5	0,4	1,6
7	3,2	2,9	3,4	3,25	1,4	1,3	-	-	2,1	1,25	0,5	1,3
8	3,8	3,6	4,2	3,35	1,3	2	-	-	2,4	1,2	0,4	1,45
9	2,8	2,2	3,7	3,7	1,3	1,3	0,9	0,8	2,2	1	0,4	1,2
10	2,75	2,2	3,9	3,9	0,6	1,7	0,8	1	2,3	1,25	0,4	1,4
11	2,8	2,8	3,2	3,75	0,55	1,3	-	1,1	1,5	1,5	0,2	1,6
12	3	2,9	2,9	4,2	1,6	1	-	-	2,2	1,2	0,5	1,35
13	2,4	2,7	3,6	2,375	0,6	1,3	1,1	1,1	2,2	1	0,5	1,2
14	3	2,1	2,4	2,85	-	-	-	-	1	0,9	0,5	1,2
15	3	3,3	4,1	2,9	1,15	1,4	1,7	1,2	2,4	1,3	0,4	1,5
16	3	2,8	3	3,2	1,45	1	-	0,9	1,1	1,8	0,3	1,9
17	3,45	3,1	3,6	3,9	-	-	-	-	1,15	1,9	0,6	1,5
18	2,2	-	-	3,95	-	-	-	-	-	-	-	-
19	3,3	3,1	3,6	3,65	1,3	1,4	1,5	1	2,05	1,05	0,2	1,25
20	3	2,8	3,3	2,95	0,7	1,7	1,35	0,9	1,8	1,1	0,55	1,3
21	3	2,9	3,5	3,65	-	-	-	-	1,8	1,4	0,2	1,65
22	3,5	3,35	3,1	4	1,6	1,15	2,1	0,8	1,4	1,9	0,3	1,8
23	3	3,15	3,3	4,15	1,15	1,7	1,4	1,35	1,15	2	0,6	2
24	3	3,65	3,8	4,05	-	-	-	-	1,4	2,15	0,45	2,2
25	2,6	3,3	3,75	5	1,2	1	-	-	2,15	1,35	0,45	2,35
26	2,4	2,7	3,7	4,5	1	0,95	1,35	0,95	2,1	1,4	0,3	1,55
27	2,85	3,15	3,4	4,4	-	-	-	-	1,55	1,6	0,5	1,65
28	2,1	2,35	3,6	4,1	0,8	0,9	1,7	0,6	1,9	1,5	0,3	1,6
29	2,65	2,7	3	3,85	1,25	1	1,4	0,8	1,9	1,5	0,2	2,1
30	3,3	3,1	3,7	3,8	1,5	1,3	1,9	0,9	1,95	1,6	0,3	1,65
31	2,75	3,8	4,55	3,65	1,6	1	2,3	0,8	2,9	1,2	0,4	2,15
32	2,95	3,3	3,8	4,2	1,1	1	1,7	1,2	2,15	1,8	0,55	2,1
33	2,45	2,15	2,95	3,9	1	1	1,3	0,9	1,5	0,9	0,3	2,1
34	3,65	3,65	4,25	3,05	1,3	2	2,05	1,2	2,35	1,65	0,3	1,6
35	3	2,8	4,85	4	-	-	-	-	-	-	0,4	-
36	2,75	4	4,1	3,8	-	-	-	-	1,8	1,7	0,3	2
37	3	2,95	4,35	3,4	1	1,2	-	0,95	2,4	1,6	0,3	1,8
38	2,65	3,05	3,9	3,85	1,1	1,2	-	-	2,1	1,5	0,5	1,65
39	1,75	1,75	2,6	4,75	0,8	0,85	0,65	1	1,15	1,15	0,4	1,75
40	3,5	3,4	3,8	4	1,75	1,45	-	1	2,1	1,3	0,4	1,5
41	2,55	3,35	4	4,25	2	1,75	-	0,9	1,9	1,7	0,7	1,85
42	2,9	3,3	4,4	3,8	1,95	2,2	-	-	2,7	1,2	0,5	1,5
43	2,8	3,9	3,9	3,1	2,1	1,65	-	1	2	1,6	0,5	1,75
44	2,75	3,1	3,8	4,25	-	-	-	-	1,75	1,9	0,55	1,05
45	2,6	3,7	4	3,9	1,15	1	2,5	0,8	2	1,6	0,65	2,15
46	2,5	3	3,4	3,9	0,9	1,25	1,5	0,95	1,4	1,65	0,55	1,75

47	1,5	2,9	2,7	3,1	0,4	0,8	1	1	1,3	1	0,7	1,15
48	3	3,1	3,8	3,2	-	-	-	-	1,8	1,65	0,4	1,8
49	2,9	4	4,5	3,15	1,5	0,9	2,25	0,9	2,5	1,65	0,7	2,2
50	3,15	3,15	4	4	1,5	1,5	2	0,85	2,1	1,5	0,6	1,7
51	2,4	3,5	4,25	3,3	1	1,1	1,8	1	2	1,8	0,6	2
52	2,95	2,9	4,1	3,2	1,5	1,2	-	0,9	2	1,8	0,4	1,9
53	3,03	2,4	3,6	4,2	1,15	1,4	1,25	1	2,2	1,65	0,4	1,8
54	3,4	3,35	3,85	5	-	-	-	-	1,1	1,8	0,3	2
55	2,3	3,6	3,65	3,8	-	-	-	-	1,4	1,75	0,3	2
56	3	3,1	4	4,1	-	1	-	-	-	-	0,35	2,1
57	3,15	3,2	3,3	4,05	1,35	1,5	1,55	1,2	1,6	1,3	0,5	1,8
58	2,2	2,2	3,3	3,2	0,6	1,3	0,55	1,25	1,5	1,2	0,3	1,75
59	2,65	2,7	3,4	3,75	1,6	0,5	1,8	0,5	2,05	1	0,4	1,9
60	3,2	3,7	3,75	4,2	-	-	-	-	-	-	0,4	2,15
61	2,6	3	4,8	3,6	1	1,2	1,9	0,65	3,3	1,2	0,3	1,5
62	3,25	2,8	3	4,1	1,5	1,15	1,3	1	1,85	1,1	0,4	1,3
63	3,3	3,5	4,05	3,5	1,2	1,8	1,7	1,6	2	1,7	0,6	2
64	2,2	3,25	3,75	3,05	1	1,4	1,8	0,9	1,7	1,6	0,3	2
65	3,15	3,2	3,05	4,3	-	1,2	-	0,65	1,15	1,6	0,4	1,8
66	2,85	2,9	3,5	3,5	1,3	0,9	1,55	0,8	1,6	1,4	0,45	1,7
67	2,6	2,8	3,3	3,4	0,85	1,4	1,4	1	1,7	1,3	0,5	1,5
68	3,2	3	3,9	4	1,1	1,4	-	-	1,85	1,6	0,4	1,8
69	2	-	-	3,1	0,3	1,2	-	-	-	-	0,4	-
70	3,3	3,6	4,5	3,4	1	1,6	1,6	1,2	2,2	1,8	0,5	2
71	3,9	4,1	4,4	4,1	1,9	1,9	1,7	0,9	2,1	1,4	0,4	1,7
72	3,3	3,2	4,25	2,6	1,3	1,4	2	0,9	2,55	1	0,4	1,3
73	3,75	3,4	3,9	3,8	2,1	1,3	-	-	1,75	1,5	0,4	1,8
74	3,6	3,5	4,3	4,5	-	-	-	-	2,1	1,8	0,5	2
75	2,7	2,9	3,6	3,15	-	-	-	-	1,8	1,45	0,4	1,6
76	3,6	3,3	3,7	3,2	1,7	1,4	2,1	0,7	1,6	1,6	0,5	1,8
77	3,1	3,2	3	3,5	1,2	1,4	-	-	1,75	1,5	0,5	1,7
78	3,1	2,9	3,6	3,35	1,2	1,2	1,6	0,8	2,05	1,2	0,5	1,3
79	2,75	3,15	4,1	3,6	0,95	1,3	1,55	1,1	2,05	1,55	0,45	1,8
80	2,2	1,8	2,4	3,4	-	-	-	-	1,15	0,8	0,55	1,05
81	3,45	3,2	3,8	3,8	1,9	1,25	-	0,8	1,9	1,4	0,5	1,6
82	3,15	3,2	3,7	3,4	1,3	1,25	-	-	2,1	1,2	0,4	1,4
83	3,8	3,3	4,25	3,8	1,7	1,6	-	-	2,5	1,35	0,4	1,6
84	2,1	1,8	2,75	3,05	-	-	-	-	1,5	0,9	0,2	1
85	3,05	2,85	4,1	3,25	-	-	-	-	2,05	1,45	0,4	1,7
86	3,4	2,3	4	2,9	-	-	-	-	1,9	1,6	0,6	1,9
87	3,6	3	4,4	4	-	1,5	-	1	2,55	1,5	0,35	1,7
88	3,1	3,4	4,3	3,7	-	-	-	-	2,2	1,1	0,5	1,4
89	3,7	3,9	4,4	3,75	1,3	1,8	2,1	1,1	2,5	1,45	0,4	1,65
90	2	2	2,5	4,1	0,8	0,9	-	0,6	0,9	1,1	0,4	1,2
91	3,4	3,6	3,7	4,5	1	1,4	-	1,2	2	1,4	0,35	1,5
92	3,6	3,6	3,9	3,6	1	2	2	1,15	2,2	1,35	0,45	1,6
93	2,9	3,4	4,2	3,4	1,25	1,1	-	-	-	-	0,5	1,7
94	2,7	2,9	3,9	3,25	1	1,4	1,6	0,85	2,35	1,25	0,3	1,4
95	3,9	3,6	4,25	4,1	1,85	1,5	2,1	1,05	2,15	1,65	0,5	1,9
96	3	2,7	3,4	3,4	-	-	-	-	-	-	0,4	1,6
97	3,6	3,2	3,4	3,6	1,4	1,5	1,9	0,8	1,75	1,15	0,5	1,4
98	3,1	3,3	3,8	3,5	-	0,95	-	0,9	2,2	1,15	0,45	1,4
99	2,5	2,8	3,8	2,8	-	-	-	-	1,85	1,5	0,35	1,7
100	3,3	3,4	4,1	3,4	-	0,75	-	0,75	2	1,6	0,35	1,85