

SKRIPSI

**APLIKASI ADAPTIF NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM
(ANFIS) DALAM PROSES PENYULINGAN KOLOM
YANG BERKELANJUTAN DAN KOLOM BATCH**

Oleh:

Syarifudin

NIM. 03510023



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG
2007**

SKRIPSI

**APLIKASI ADAPTIF NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM
(ANFIS) DALAM PROSES PENYULINGAN KOLOM
YANG BERKELANJUTAN DAN KOLOM BATCH**

Dianjukan kepada:

Universitas Islam Negeri Malang

Fakultas Sains dan Teknologi

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:

Syarifudin

NIM. 03510023



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG
2007**

**APLIKASI ADAPTIF NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM
(ANFIS) DALAM PROSES PENYULINGAN KOLOM
YANG BERKELANJUTAN DAN KOLOM BATCH**

SKRIPSI

Oleh:

Syarifudin

NIM. 03510023

Jurusan Matematika

Telah Disetujui

Pada Tanggal, 2007

Oleh:

**Dosen Pembimbing
Matematika**

Evawati Alisah, M.Pd

NIP.150 291 271

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Sri Harini, M.Si
NIP. 150318321

**APLIKASI ADAPTIF NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM
(ANFIS) DALAM PROSES PENYULINGAN KOLOM
YANG BERKELANJUTAN DAN KOLOM BATCH**

SKRIPSI

Oleh:

Syarifudin

NIM. 03510023

Jurusan Matematika

Telah Disetujui

Pada Tanggal, 2007

Oleh:

Dosen Pembimbing
Keagamaan

Dosen Pembimbing
Matematika

Ach. Nasichiddin, M.A
NIP.150 302 531

Evawati Alisah, M.Pd
NIP.150 291 271

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Sri Harini, M.Si
NIP. 150318321

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ilmiah ini kepada:

Bapak H. Abubakar dan Ibu Fatmah tercinta

(semoga aku selalu menjadi kebanggaan bagimu)

Guru, Dosen, dan Pengajaraku

(semoga segala doa dan ilmu yang tercurahkan tidak sia-sia)

Mbak Fikri, Adikku Suharni, Fatim, Yati, Irvan, Udin, dan Mifta

(terimah kasih atas motifasi dan dukungannya)

Keluarga besar KSR-PMI Unit UIN Malang

(suka duka yang kau berikan akan selalu menjadi kenangan manis untukku)

Bustan, Roni, Warih, Agus, Egrang, Muhdor, Cupes, Mufid, Sukri, Ciko

Puji, Monel, Nina, dan semua angkatan IVX maupun angkata VX

(thanks to kesetiaan kalian mengiringi jalan hidupku, semangat yang

Selalu kalian kobarkan dalam hidupku

Semoga persaudaraan kita tak tergoyahkan oleh apapun)

Semua saudara-saudariku jurusan matematika angkatan 2003

(perjuangan, kebersamaan, dan suka duka yang kita lakukan bersama

Harus dijaga dan dilaminating dalam hati kita masing2)

TERIMAH KASIH SEMUANYA

MOTTO

يُرِيدُ اللَّهُ بِكُمْ الْيُسْرَ وَلَا يُرِيدُ بِكُمْ الْعُسْرَ وَلِيُكْمِلُوا الْعِدَّةَ وَلِيُكَبِّرُوا اللَّهَ
عَلَى مَا هَدَاكُمْ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ

... .. Allah menghendaki kemudahan bagimu, dan tidak menghendaki kesukaran bagimu.

Dan hendaklah kamu mencukupkan bilangannya dan hendaklah kamu
mengagungkan Allah atas petunjuk-Nya yang diberikan kepadamu,
supaya kamu bersyukur.

(QS. Al Baqarah 185)

Membaca Hanya Mengerakkan Pikiran Saja,
Tetapi Membaca Disertai dengan Menulis Akan Menggerakkan
Dunia.



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, atas segala petunjuk, rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan lancar.

Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, yang telah mengantarkan ummat manusia kepada zaman yang terang benderang, yang kaya akan ilmu pengetahuan.

Dalam keadaan yang penuh dengan perjuangan dan suka cita, dan tak pernah lepas dari orang-orang yang selalu membantu, penulis dapat menyelesaikan penulisan ini dengan tanpa hambatan dan halangan yang berarti.

Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tiada terhingga kepada :

1. Bapak prof. Dr. H. Imam Suprayogo selaku rektor Universitas Islam Negeri Malang.
2. Bapak Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, Su., Dsc selaku dekan fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.
3. Ibu Evawati Alisah, M.Pd selaku dosen pembimbing yang telah menyempatkan diri dan meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ach. Nasihuddin, M.A selaku dosen pembimbing keagamaan yang telah menyempatkan diri dan meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Segenap bapak dan ibu dosen jurusan matematika yang telah memberikan ilmu pengetahuan, arahan dan dorongan dalam menuntut ilmu di UIN Malang.
6. Bapak dan Ibu atas do'a, motivasi dan kasih sayangnya dalam mendidik serta mengiringi perjalanan hidup penulis hingga dewasa..
7. Bapak Suaeb dan Siti Sarah atas do'a, motivasi dan kasih sayangnya dalam mendidik serta mengiringi perjalanan hidup penulis selama perkuliahan

Semoga segala kebaikan dijadikan sebagai amalan yang akan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT dan segala keburukan diampuni oleh Allah SWT.

Penulis berharap, semoga karya tulis yang sedikit ini menjadi amalan jariyah dan dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang matematika terutama di UIN malang.

Walhamdulillahirobbil'alamin

Malang, Oktober 2007

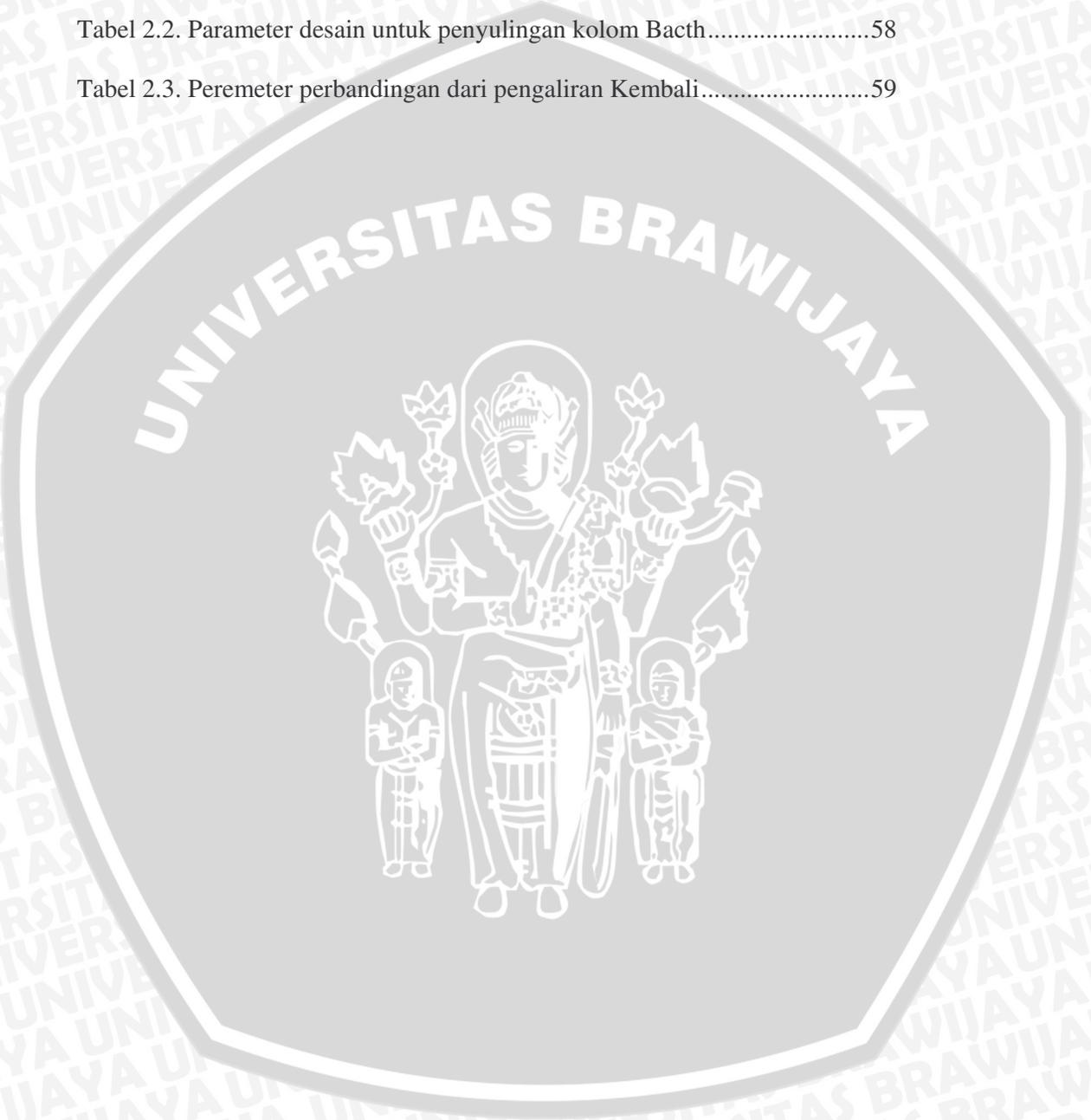
Penulis

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Plan data.....56

Tabel 2.2. Parameter desain untuk penyulingan kolom Bacth.....58

Tabel 2.3. Peremeter perbandingan dari pengaliran Kembali.....59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Representasi linier naik.....	12
Gambar 2.2. Representasi linier turun.....	13
Gambar 2.3. Kurva Segitiga.....	13
Gambar 2.4. Kurva trapesium.....	14
Gambar 2.5. Kurva bentuk bahu.....	15
Gambar 2.6 Karakteristik fungsi kurva π	15
Gambar 2.7 Karakteristik fungsi kurva β	16
Gambar 2.8 Karakteristik fungsi kurva γ	17
Gambar 2.9. Fuzzy inference Engine.....	23
Gambar 2.10. Fuzzy inference sistem Mamdani.....	24
Gambar 2.11. Fuzzy inference sistem Takagi-Sugeno.....	24
Gambar 2.12. Struktur dasar dari ANFIS.....	25
Gambar 2.13 Model perambatan balik galat ke node $O_{l,j}$	44
Gambar 2.15 Arah penurunan d yang layak dari θ_{kini}	46
Gambar 2.16. Estimation yang menggunakan penaksir ANFIS.....	52
Gambar 2.17. C3-C4 splitter kolom.....	55
Gambar 2.18. Penyulingan Bacth kolom.....	58



DAFTAR ISI

Halaman judul

Lembar persetujuan

Lembar pengesahan

Motto

Lembar Pernyataan

Halaman persembahan

Bukti Konsultasi

Kata pengantar **i**

Abstrak **iii**

Daftar isi **iv**

Daftar gambar **viii**

Daftar Tabel **ix**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang 1

1.2 Rumusan masalah 6

1.3 Tujuan penelitian 6

1.4 Batasan masalah 7

1.5 Manfaat penelitian 7

1.6 Metode penelitian 7

1.7 Sistematika pembahasan 8

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dasar logika fuzzy 10

2.2 Himpunan klasik 10



2.3	Himpunan fuzzy	11
2.4	Fungsi keanggotaan.....	12
2.4.1	Fungsi keanggotaan representasi linier	12
2.4.2	Fungsi keanggotaan segitiga	13
2.4.3	Fungsi keanggotaan trapesium.....	14
2.4.4	Fungsi keanggotaan bentuk bahu.....	14
2.4.5	Representasi Kurva Bentuk Lonceng (Bell Curve).....	15
2.4.5.1	Kurva Pi	15
2.4.5.2	Kurva Beta (β)	16
2.4.5.3	Kurva Gauss (γ)	17
2.5	Koordinat Keanggotaan	17
2.6	Tipe Dasar Zadeh untuk Operasi Himpunan Fuzzy.....	18
2.6.1	Operator and.....	18
2.6.2	Operator or	18
2.6.3	Operatoe not.....	18
2.7	Logika Fuzzy.....	19
2.7.1	Variabel bahasa (linguistik)	19
2.7.2	Variabel numeris	19
2.7.3	Proposisi fuzzy	20
2.7.4	Nilai kebenaran	20
2.8	Fungsi Implisit	21
2.9	Fuzzy Reasoning	21
2.10	Fuzzy Sistem	22
2.11	Pengertian Anfis.....	24



2.12	Arsitektur Anfis.....	25
2.13	Model Propagasi Error.....	27
2.13.1	Error Pada Lapisan ke-5.....	28
2.13.2	Error Pada Lapisan ke-4.....	28
2.13.3	Error Pada Lapisan ke-3.....	29
2.13.4	Error Pada Lapisan ke-2.....	29
2.13.5	Error Pada Lapisan ke-1.....	30
2.14	Algoritma Pelatihan Hybrid.....	34
2.15	Langkah Balik dengan menggunakan Metode Penurunan Gradien.....	41
2.16	Metode Penurunan.....	44
2.17	Metode Penurunan Berbasis Gradien.....	46
2.18	Metodologi Desain Sistem Fuzzy.....	47
2.18.1	Mendefinisikan Karakteristik Model Secara Fungsional dan Operasional.....	47
2.18.2	Melakukan Dekomposisi Variabel Model Mejadi Himpunan Fuzzy.....	48
2.18.3	Membuat Aturan Fuzzy.....	48
2.19	Menentukan Metode Defuzzy untuk Tiap-tiap Variabel Solusi.....	50
2.20	Manjalankan Simulasi Sistem.....	50
2.21	Pengujian: Pengaturan dan Validasi Model.....	51
2.22	Anfis Sebagai Satu Penaksir (Estimator).....	51
2.23	Penyulingan Kolom Yang Berkelanjutan.....	54
2.24	Penyulingan Kolom Batch.....	57
2.25	Kajian Keagamaan.....	59

BAB III PEMBAHASAN

3.1 Penilaian Penyulingan Di dalam Kolom yang Berkelanjutan.....63

3.1.1 Pemilihan input sebagai estimator64

3.1.2 Mengidentifikasi data pelatihan65

3.1.3 Pembekajaran dari penaksiran ANFIS66

3.1.4 Hasil simulation67

3.2 Penilaian Di dalam Kolom Penyulingan Batch.....70

3.1.5 Pemilihan input sebagai penaksir.....71

3.1.6 Generasi data pelatihan71

3.1.7 Pelatihan dari struktur-struktur ANFIS.....72

3.1.8 Hasil simulation73

BAB IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan78

4.2 Saran.....82

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A Hasil Simulasi dengan ANFIS pada baki di komposisi bagian Atas dan baki komposisi bagian Alas.85

LAMPIRAN B Hasil Simulasi dengan ANFIS pada baki di komposisi C1, C2, dan C3.....103



ABSTRAK

Syarifudin. 2007: *Aplikasi Adaptif Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Proses Penyulingan Kolom yang Berkelanjutan dan Kolom Batch*. Skripsi, Jurusan Matemati, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Malang.

Dosen Pembimbing: Evawati Alisah, M.Pd

Kata Kunci: Sistem Fuzzy, Penaksir, dan ANFIS

Banyak hal yang mendasar dalam kajian matematika yang dapat dikupas dan dikaji lebih mendalam untuk memahami matematika itu sendiri. Cabang ilmu matematika yang paling sering digunakan pada akhir-akhir ini adalah Logika Fuzzy. Logika Fuzzy ini banyak sekali diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari dengan bermacam-macam metode. Salah satu metodenya adalah *Adaptif Neuro Fuzzy Inferen System (ANFIS)*.

Sistem *Adaptif Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)* merupakan model fuzzy yang dapat digunakan sebagai pengganti dari perceptron dengan banyak lapisan. Dalam hal ini, sistem dapat dibagi menjadi dua grup, yaitu satu grup berupa jaringan syaraf dengan bobot-bobot fuzzy dan fungsi aktifitas fuzzy, dan grup yang kedua berupa jaringan syaraf dengan input yang difuzzykan pada lapisan pertama atau kedua, neuron fuzzy termasuk kelompok yang kedua. ANFIS juga merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inferensi system. Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan *hybrid*. Bisa dikatakan bahwa ANFIS suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data.

Dalam metode ANFIS ini, untuk mengambil keputusan dengan menerapkan metode estimasi. Mengenai estimator sudah dijelaskan juga dalam Al-Qur'an sesuai dengan surat Ash-Shaffa ayat 147 sebagai berikut:

وَأَرْسَلْنَاهُ إِلَىٰ مِائَةِ أَلْفٍ أَوْ يَزِيدُونَ ﴿١٤٧﴾

Kendali yang efektif pada sistem penyulingan adalah salah satu dari operasi yang utama pada suatu industri kimia, dengan demikian untuk merancang suatu pengontrol atau pengendali kita harus mengetahui nilai-nilai komposisi. Pengukuran-pengukuran yang *online* dari komposisi-komposisi bisa dilakukan dengan menganalisis komposisi secara langsung. Bagaimanapun, pengukuran komposisi yang *online* bukanlah hal yang mudah, karena menganalisis seperti ini seperti menganalisis kromatograf gas, yang mengakibatkan keterlambatan dari pengukuran yang besar. Sebagai satu alternatif, komposisi dapat diperkirakan dari pengukuran-pengukuran temperatur. Dengan demikian, suatu penaksir yang *online*, bahwa menggunakan pengukuran-pengukuran temperatur dapat digunakan untuk menyimpulkan komposisi-komposisi yang dihasilkan. Di dalam studi ini, penaksir-penaksir ANFIS dirancang untuk menyimpulkan komposisi-komposisi bagian kepala (*propena*) dan alas (*butena*) di suatu kolom penyulingan yang berkelanjutan dan untuk menyimpulkan komposisi-komposisi drum pengaliran kembali di suatu penyulingan kolom *batch* dari temperatur-temperatur baki yang terukur.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika sebagai dasar ilmu pengetahuan telah berkembang pesat seiring dengan kemajuan teknologi. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa banyak pelajar atau mahasiswa khususnya dan masyarakat umumnya yang menganggap bahwa Matematika adalah pelajaran yang hanya sebatas membahas penjumlahan, pengurangan, dan perkalian angka-angka serta pelajaran itu cukup menakutkan, sehingga tidak banyak orang tertarik untuk mendalaminya. Padahal ilmu matematika tidak hanya sekedar ilmu yang membahas masalah seperti itu dan digunakan dikelas saja, akan tetapi ia bisa digunakan dan diaplikasikan di dunia luar.

Matematika sendiri merupakan alat untuk menyederhanakan dalam penyampaian dan pemahaman masalah, maka tidaklah heran apabila ilmu-ilmu yang lain yang berhasrat untuk menerapkan matematika dalam memecahkan persoalan yang dihadapinya. Misalnya dalam menentukan jumlah produksi berdasarkan faktor suhu, kebisingan dan sebagainya. Hal ini tidak bisa lepas dari matematika sehingga matematika digunakan oleh seluruh lapisan masyarakat.

Logika adalah salah satu ilmu matematika yang sangat penting dan diperluas sebagai logika fuzzy. Logika fuzzy sendiri dikatakan sebagai logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika fuzzy modern dan metodis baru ditemukan beberapa tahun yang lalu. Padahal sebenarnya konsep tentang logika fuzzy itu sendiri sudah ada sejak lama. Secara umum logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Sedangkan

aplikasi logika fuzzy sudah mulai dirasakan dalam beberapa bidang. Salah satu aplikasi terpentingnya adalah untuk membantu manusia dalam melakukan pengambilan keputusan. Aplikasi logika fuzzy untuk pendukung keputusan ini semakin diperlukan tatkala semakin banyak kondisi yang menuntut adanya keputusan yang tidak hanya bisa dijawab dengan “ya” atau “tidak”, “benar” atau “salah” tetapi juga ada setengah “ya” setengah “tidak” atau setengah “benar” setengah “salah” yaitu dikotomi values. Dalam logika fuzzy selalu berkaitan dengan derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 dan 1 (kusumadewi:40).

Pada himpunan tegas (*crisp*) nilai keanggotaan ada dua kemungkinan yaitu 0 dan 1, sedangkan pada himpunan fuzzy nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A [x]=0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan fuzzy $\mu_A [x]=1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A . Terkadang kemiripan antara keanggotaan fuzzy dengan probabilitas menimbulkan kerancuan. Keduanya memiliki nilai pada interval $[0,1]$ namun interpretasi nilainya sangat berbeda antara kedua kasus tersebut. Keanggotaan fuzzy memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai benar dalam jangka panjang.

Dalam logika fuzzy, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam memproses data atau menyelesaikan permasalahan, tetapi metode-metode tersebut masih banyak kekurangan-kekurangan dan belum lengkap. Dari sekian

banyak metode salah satu diantaranya adalah *Adaptif Neuro Fuzzy Inference Syatem* (ANFIS). ANFIS merupakan model fuzzy yang dapat digunakan sebagai pengganti dari perceptron dengan banyak lapisan. Dalam hal ini, sistem dapat dibagi menjadi dua grup, yaitu satu grup berupa jaringan syaraf dengan bobot-bobot fuzzy dan fungsi aktifitas fuzzy, dan grup yang kedua berupa jaringan syaraf dengan input yang difuzzykan pada lapisan pertama atau kedua, neuron fuzzy termasuk kelompok yang kedua (Osowski, 2004). ANFIS juga merupakan arsitektur yang secara fungsional sama dengan *fuzzy rule base* model Sugeno. Arsitektur bisa juga sama dengan jaringan syaraf dengan fungsi radial dengan batasan tertentu. Bisa dikatakan bahwa ANFIS suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpul data.

ANFIS juga merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem inferensi system. Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuensi yang dapat diadaptasikan dengan pelatihan *hybrid*. Pelatihan hybrid dilakukan dua langkah yaitu langkah maju dan langkah balik.

Di dalam proses-proses penyulingan kolom yang berkelanjutan dan penyulingan kolom *batch*, kontrol komposisi adalah sangat penting. Terutama, untuk menemukan spesifikasi kemurnian, suatu kolom *batch* harus dioperasikan dengan tepat sesuai dengan yang diharapkan. Jika komposisi-komposisi sudah diketahui, maka komposisi-komposisi tersebut dapat membentuk suatu proses dasar untuk meningkatkan kinerja melalui suatu pengambilan keputusan operator untuk mengembangkan dari suatu rencana pengendalian sengkeli-tertutup (Venkateswarlu dan Avantika 2001). Suatu sistem kontrol yang baik dan efektif

untuk kolom-kolom penyulingan yang berkelanjutan dapat juga dirancang dengan mudah dari nilai-nilai komposisi yang sudah ada. Pengukuran-pengukuran online dari komposisi-komposisi bisa dilakukan dengan menganalisis-dari komposisi secara langsung. Bagaimanapun, pengukuran komposisi *online* bukanlah tidak mungkin, tetapi karena menganalisis seperti ini sama dengan menganalisis kromatograf gas yang mengakibatkan keterlambatan pengukuran, investasi yang besar dan biaya pemeliharaan yang mahal. Sebagai suatu alternatif, komposisi dapat diperkirakan dari pengukuran-pengukuran temperatur. Dengan demikian, suatu penaksir yang *online* bahwa menggunakan pengukuran-pengukuran dengan temperatur dapat digunakan untuk menyimpulkan/menduga komposisi-komposisi yang dihasilkan. Di dalam studi ini, ANFIS dirancang untuk menyimpulkan atau menduga komposisi-komposisi bagian atas dan bagian bawah dari suatu kolom penyulingan yang berkelanjutan dan juga untuk menyimpulkan/menduga komposisi-komposisi drum pengaliran kembali di suatu penyulingan kolom *batch*.

Pembahasan mengenai pendugaan atau estimator sudah dijelaskan juga dalam Al-Qur'an sesuai dengan surat Ash-Shaffa ayat 147 sebagai berikut:

وَأَرْسَلْتُهُ إِلَىٰ مِائَةِ أَلْفٍ أَوْ يَزِيدُونَ ﴿١٤٧﴾

Artinya:

Dan Kami utus dia (dalam satu tugas) kepada seratus ribu (orang) atau lebih.

Pada Surat Ash-Shaffa ayat 147 tersebut dijelaskan bahwa Nabi Yunus diutus kepada umatnya yang jumlahnya 1.000.000 orang atau lebih. Jika membaca ayat tersebut secara seksama, ada rasa (kesan) bahwa terdapat keraguan dalam menentukan jumlah umat Nabi Yunus. Mengapa harus menyatakan 1.000.000 atau lebih? Mengapa tidak menyatakan dengan jumlah yang

sebenarnya? Bukankan Allah maha mengetahui yang gaib dan yang nyata? Bukankan Allah SWT maha mengetahui segala sesuatu, termasuk jumlah umat Nabi Yunus? (Abdusakir: 91).

Berangkat dari beberapa hal di atas, maka dengan memanfaatkan data yang sudah ada dan hasil penelitian terdahulu oleh yang merancang penaksiran FNN untuk kolom penyulingan yang berkelanjutan untuk menaksir komposisi-komposisi alas sejenis *metan* dan atas sejenis *karbohidrat* dari temperatur-temperatur dan nilai-nilai komposisi yang sudah ada. Dia menerapkan suatu teknik *Singular Value Decomposition* (SVD) untuk memilih lokasi-lokasi sensor. Menurut SVD, untuk suatu sistim komponen NC, pengukuran-pengukuran temperatur NC-1 diperlukan untuk penilaian komposisi. Karenanya, tiga baki dari kepala dan tiga dari alas ditemukan untuk menaksir kepala sejenis *metan* dan alas sejenis gas *hidrokarbon* dari komposisi-komposisi. Ini adalah komposisi-komposisi kepala dengan baki ke 31, 32, dan 33, dan baki-baki alas ke 10, 11 dan 12. sehingga di dalam studi ini, diarahkan hanya untuk menaksir komposisi-komposisi dari pengukuran-pengukuran temperatur dari penyulingan kolom berkelanjutan, kinerja-kinerja dari struktur ANFIS juga diguna di dalam kolom penyulingan *batch*. Untuk itu di dalam skripsi ini diambil judul "***Aplikasi Adaptif Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Proses Penyulingan Kolom yang Berkelanjutan dan Kolom Batch***".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur menstruksi struktur ANFIS dari komponen-komponen komposisi baki dibagian atas (*propena*) dan bagian alas (*butena*) di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan?.
2. Bagaimana prosedur menstruksi struktur ANFIS dari komponen-komponen drum pengaliran kembali dari *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2), dan *toluene* (C3) di dalam penyulingan kolom *batch*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen dikomposisi kepala (*propena*) dan alas (*butena*) di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan.
2. Untuk mengetahui prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen drum pengaliran kembali dari *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2), dan *toluene* (C3) di dalam penyulingan kolom *batch*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan sebagai berikut:

- Diarahkan hanya untuk pengukuran komposisi-komposisi baki dari temperatur, karena data pada pembahasan ini sudah ditentukan oleh penelitian sebelumnya.
- Fungsi keanggotaan yang digunakan hanya berbentuk segitiga dan gaussian, karena dua fungsi keanggotaan ini sudah cukup mewakili dari beberapa fungsi keanggotaan yang lain.
- Analisis dengan menggunakan Tool Box Matlab 7.0

1.5 Manfaat Penelitian

- Sebagai pengembangan ilmu pengetahuan baik dalam ilmu matematika, kimia maupun dalam ilmu komputer.
- Sebagai alat bantu dalam memecahkan suatu masalah baik dalam ilmu matematika itu sendiri maupun ilmu-ilmu yang lainnya.
- Dapat menelaah wahana aplikasi sehingga bisa diterapkan dalam kehidupan riil.
- *Decision maker* sebagai bahan pertimbangan

1.6 Metode Penelitian

Penelitian dalam penulisan skripsi ini merupakan penelitian dasar atau murni (*basic research*). Sedangkan metode penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah penelitian kepustakaan (*library research*).

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data yang bersifat tekstual yang meliputi: data hasil penyulingan kolom yang berkelanjutan dan kolom *batch* dari hasil penelitian orang lain, fungsi keanggotaan fuzzy, dan ANFIS. Adapun langkah-langkah umum dalam penulisan skripsi ini adalah mengumpulkan data-data dan informasi dengan cara membaca dan memahami literatur yang berkaitan dengan kajian menstruksi struktur ANFIS dalam permasalahan penyulingan kolom yang berkelanjutan dan kolom *batch* dengan mengkaji literatur utama adalah jurnal yang berjudul "*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Applications In Chemical Processes*" dan didukung oleh buku-buku yang lain seperti: *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, *Analisis dan Desain System fuzzy Menggunakan Tool Box MATLAB*, *Program GUI dengan MATLAB*, dan buku-buku lainnya, kemudian mengkaitkan konsep yang diperoleh dari data-data diatas dengan menggunakan program *Tool Box MATLAB 7,0*.

1.7 Sistematika Pembahasan

Untuk memperoleh gambaran yang dapat dimengerti dan menyeluruh mengenai rancangan isi dari skripsi ini, secara global dapat dilihat dari sistematika pembahasan di bawah ini :

Bab I adalah Pendahuluan, yang berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika pembahasan.

Bab II adalah Kajian Pustaka, yang berisikan tentang pengertian dasar logika fuzzy, himpunan klasik, himpunan fuzzy, fungsi keanggotaan, koordinat keanggotaan, tipe dasar zadeh untuk operasi himpunan fuzzy, logika fuzzy, fungsi implikasi, fuzzy reasoning, fuzzy system, pengertian ANFIS, arsitektur ANFIS, langkah balik dengan menggunakan metode turunan, metode penurunan, model propagasi eror, algoritma pelatihan hybrid, metodologi desain sistem fuzzy, menentukan metode defuzzy untuk tiap-tiap variabel solusi, menjalankan simulasi sistem, pengujian, ANFIS sebagai suatu penaksir, penyulingan kolom yang berkelanjutan, penyulingan kolom *batch*, dan kajian keagamaan

Bab III adalah Pembahasan, yang membahas mengenai prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen komposisi baki dibagian atas *propena* dan alas *butena* di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan dan mengenai prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen drum pengaliran kembali dari *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2), dan *toluene* (C3) di dalam penyulingan kolom *batch*.

BAB IV adalah Penutup, yang berisikan tentang kesimpulan dan saran-saran dari hasil penelitian dengan analisis secara teoritis dan empiris.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Dasar Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah suatu sistem logis pada suatu informasi logis yang bertujuan pada suatu formalisasi dari taksiran pemikiran. Tidak seperti logika klasik (boolean), logika fuzzy memiliki nilai yang kontinu. Fuzzy dinyatakan dalam derajat keanggotaan dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh karena itu, suatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama.

2.2 Himpunan Klasik

Pada himpunan klasik, nilai keanggotaan yang digunakan ada 2 kemungkinan yaitu 0 atau 1 yang menunjukkan bahwa bukan anggota atau merupakan anggota dari suatu himpunan seperti hitam atau putih serta tidak ada kata abu-abu. Nilai 0 dan 1 pada himpunan klasik ini disebut dengan himpunan tegas (*crisp*).

Misal, apabila ada himpunan A yang merupakan suatu himpunan bilangan riil X dan $x \in X$, maka derajat keanggotaan suatu elemen x di dalam himpunan A dapat dinyatakan dengan

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x \in A \\ 0, & \text{untuk } x \notin A \end{cases}$$

Dimana $\mu_{A(x)}$ menunjukkan derajat keanggotaan elemen x di dalam himpunan A . Jadi disini derajat keanggotaannya apabila 1 berarti merupakan anggota penuh dan apabila 0 berarti bukan merupakan anggotanya.

2.3 Himpunan Fuzzy

Teori himpunan fuzzy dikembangkan oleh Prof. Lofti Zadeh pada tahun 1965. Teori himpunan fuzzy ini timbul karena semakin canggihnya teknologi maka semakin banyak pula kondisi yang menuntut adanya keputusan yang tidak hanya bisa dijawab dengan “ya” atau “tidak”, “benar” atau “salah” tetapi juga ada setengah “ya” setengah “tidak” atau “setengah “benar” dan “setengah “salah”.

Misalkan himpunan fuzzy A yang terdiri dari elemen-elemen x pada suatu himpunan semesta S yang dikarakterisasi oleh sebuah fungsi keanggotaan yang memiliki nilai pada interval $[0,1]$ dan dituliskan sebagai

$$A = \{x | \mu_{A(x)}, x \in S\}$$

Dengan $\mu_{A(x)}$ adalah derajat keanggotaan untuk himpunan fuzzy A yang memetakan setiap elemen x pada nilai keanggotaan antara 0 dan 1.

Jadi terlihat jelas definisi antara himpunan fuzzy dengan himpunan klasik, hanya karakteristik fungsi himpunan fuzzy dapat mempunyai nilai beberapa saja diantara 0 dan 1. Jika nilai fungsi keanggotaan $\mu_{A(x)}$ tersebut 0 atau 1 maka A menjadi himpunan klasik.

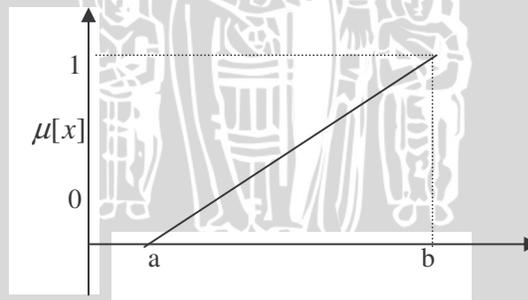
2.4 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1. salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Fungsi keanggotaan fuzzy yang sering digunakan adalah:

2.4.1 Fungsi Keanggotaan Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.

Ada dua keadaan himpunan fuzzy yang linier. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan 0 bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi.



Gambar 2.1 Representasi Linier Naik

Fungsi Keanggotaannya:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Kedua, merupakan kebalikan yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai kodomain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah.



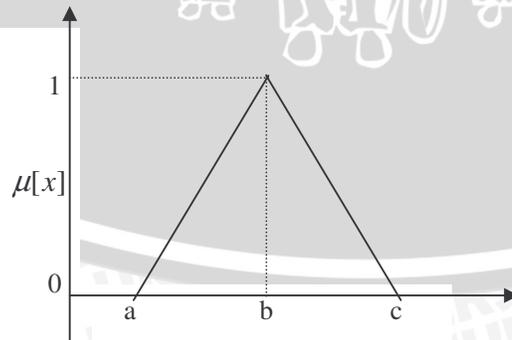
Gambar 2.2 Representasi Linier Turun

Fungsi Keanggotaannya:

$$\mu[x] = \begin{cases} (b-x)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

2.4.2 Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi ini pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 jenis garis (linear). Fungsi keanggotaan ini mempunyai parameter $\{a, b, c\}$ yang akan menentukan koordinat x dari tiga sudut.



Gambar 2.3 Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaannya:

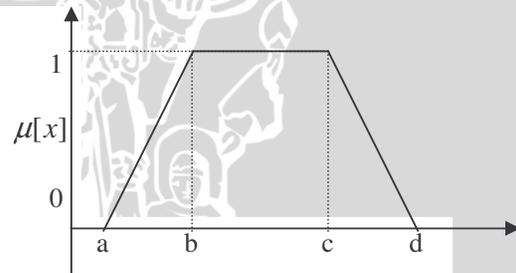
$$\mu_{[x]} = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \end{cases}$$

2.4.3 Fungsi Keanggotaan Trapesium

Kurva trapesium ini pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja pada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Fungsi keanggotaan ini mempunyai parameter a, b, c, d dengan formulasi dan grafiknya:

Fungsi keanggotaannya:

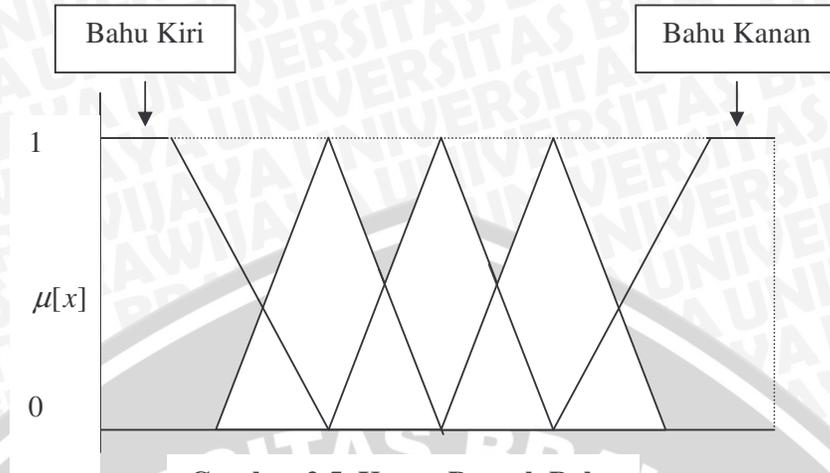
$$\mu_{[x]} = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \end{cases}$$



Gambar 2.4 Kurva Trapesium

2.4.4 Fungsi Keanggotaan Bentuk Bahu

Suatu kurva yang daerahnya terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya merupakan kurva naik dan turun. Himpunan fuzzy bahu digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah dan bahu kanan bergerak dari salah ke benar.



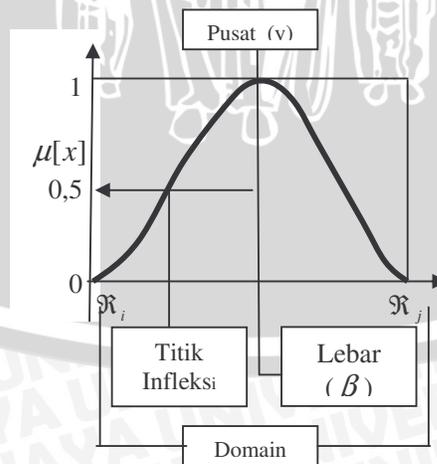
Gambar 2.5 Kurva Bentuk Bahu

2.4.5 Representasi Kurva Bentuk Lonceng (Bell Curve)

Untuk merepresentasikan bilangan fuzzy, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas tiga kelas, yaitu: himpunan fuzzy π , beta, dan gauss. Perbedaan kurva ini terletak pada gradiennya.

2.4.5.1 Kurva PI (π)

Kurva π berbentuk lonceng dengan derajat keanggotaan 1 terletak pada pusat dengan domain (γ), dan lebar kurva (β).



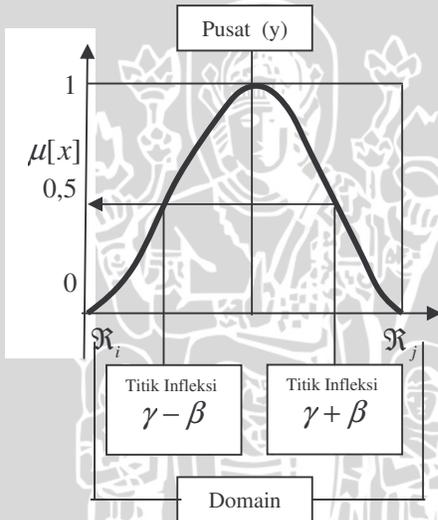
Gambar 2.6 Karakteristik fungsi kurva- π

Fungsi Keanggotaan:

$$\pi(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S\left(x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma\right) & \rightarrow x \leq \gamma \\ 1 - S\left(x; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma + \beta\right) & \rightarrow x > \gamma \end{cases}$$

2.4.5.2 Kurva BETA (β)

Kurva β berbentuk lonceng namun lebih rapat. Kurva ini juga didefinisikan dengan dua parameter, yaitu nilai pada domain yang menunjukkan pusat kurva (γ), dan setengah lebar kurva (β).



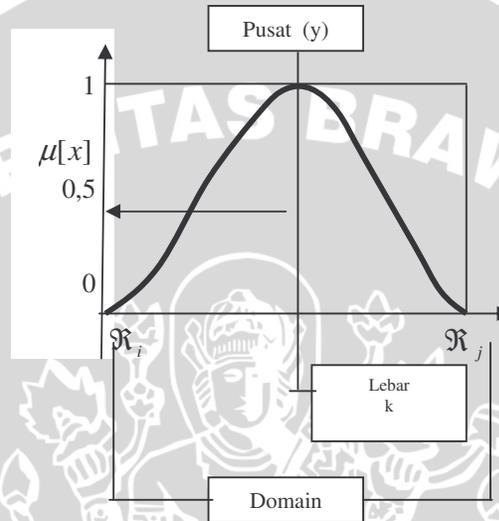
Gambar 2.7 Karakteristik fungsi kurva- β

Fungsi Keanggotaan:

$$B(x; \gamma, \beta) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^2}$$

2.4.5.3 Kurva GAUSS (γ)

Jika kurva PI dan kurva BETA menggunakan dua parameter yaitu kurva (γ) dan β , kurva GAUSS juga menggunakan (γ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva, dan (k) yang menunjukkan lebar kurva.



Gambar 2.8 Karakteristik fungsi kurva- γ

Fungsi Keanggotaan:

$$G(x; k, \gamma) = e^{-k(\gamma-x)^2}$$

2.5 Koordinat Keanggotaan

Himpunan fuzzy berisi urutan pasangan berurutan yang berisi nilai domain dan kebenaran nilai keanggotaannya dalam bentuk:

Skalar(i) / Derajat (i)

‘Skalar’ adalah suatu nilai yang digambar dari domain himpunan fuzzy, sedangkan ‘Derajat’ skalar merupakan derajat keanggotaan himpunan fuzzy-nya.

2.6 Tipe Dasar Zadeh untuk Operasi Himpunan Fuzzy

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy. Ada tiga operator yang diciptakan oleh Zadeh, yaitu:

2.6.1 Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operator dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

2.6.2 Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operator dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

2.6.3 Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operator dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A[x]$$

Karena himpunan fuzzy tidak dapat dibagi dengan tepat seperti halnya pada himpunan *crisp*, maka operasi-operasi ini diaplikasikan pada tingkat

keanggotaan. Suatu elemen dikatakan menjadi anggota himpunan fuzzy jika berada pada domain himpunan tersebut, nilai kebenaran keanggotaannya ≥ 0 dan berada di atas ambang α -cut yang berlaku.

2.7 Logika fuzzy

2.7.1 Variabel bahasa (linguistik)

Variabel bahasa adalah penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami. Variabel bahasa ini bernilai kata-kata atau kalimat dan bukan angka. Ada sebuah alasan mengapa orang menggunakan variabel bahasa dari pada variabel angka karena peranan bahasa kurang spesifik dibandingkan angka tetapi variabel bahasa ini lebih informatif. Variabel bahasa ini merupakan konsep penting dalam logika fuzzy dan memegang peranan penting dalam beberapa aplikasi.

Jika “temperatur “ adalah variabel bahasa maka nilai bahasa untuk variabel temperatur adalah “dingin”, “sejuk”, “normal”, “hangat”, “panas”. Hal ini sesuai dengan kebiasaan manusia sehari-hari dalam menilai sesuatu hal misalnya “udara hari ini panas”, tanpa memberikan nilai seberapa besar derajat panasnya.

2.7.2 Variabel Numeris

Variabel numeris adalah suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel. Contoh jika “temperatur” adalah variabel numeris maka nilai nominalnya untuk variabel temperatur adalah 20, 25, 30, 35, 40 dan sebagainya.

2.7.3 Proposisi Fuzzy

Perbedaan mendasar antara proposisi logika klasik dengan proposisi logika fuzzy adalah pada nilai kebenarannya. Nilai kebenaran proposisi logika klasik adalah 0 atau 1 sedangkan nilai kebenaran proposisi logika fuzzy berada pada interval $[0,1]$.

Proposisi fuzzy dapat digolongkan menjadi 2 jenis yaitu proposisi fuzzy tunggal dan proposisi fuzzy majemuk. Proposisi fuzzy tunggal memiliki bentuk umum.

X adalah A .

Dengan x adalah variabel bahasa dan A adalah nilai bahasa dari x .

Proposisi fuzzy majemuk adalah komposisi dari proposisi-proposisi fuzzy tunggal dengan menggunakan penghubung dan, atau, tidak dan “jika...maka...”, nilai kebenaran dari proposisi fuzzy majemuk diperoleh dengan menganggap proposisi tersebut sebagai relasi fuzzy dan derajat keanggotaan himpunan fuzzy yang berkorespondensi dengan relasi fuzzy tersebut diinterpretasikan sebagai nilai kebenaran dari proposisi fuzzy majemuk.

2.7.4 Nilai Kebenaran

Kebenaran atau kesalahan suatu proposisi dinamakan nilai kebenaran dari proposisi tersebut. Jika suatu proposisi bernilai benar maka nilai kebenarannya adalah 1 dan jika proposisi bernilai salah maka nilai kebenarannya adalah 0.

2.8 Fungsi Implisit

Tiap-tiap atauran (proporsi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah

IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan fuzzy. Proporsi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proporsi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proporsi ini dapat diperluas dengan menggunakan operasi fuzzy, seperti:

IF $(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ (x_n \text{ is } A_n)$ THEN y is B dengan \circ adalah operasi (misal: OR atau AND).

Secara umum ada dua fungsi implisit yang dapat digunakan, yaitu:

- Min (*minimum*). Fungsi ini akan memotong output himpunan fuzzy.
- Dot (*product*). Fungsi ini akan menskala output himpunan fuzzy.

2.9 Fuzzy Reasoning

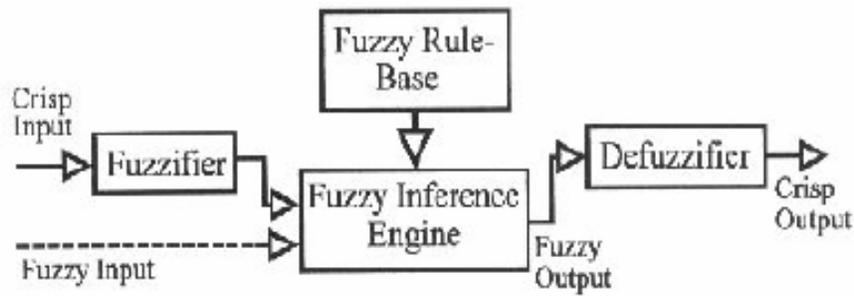
Penalaran fuzzy adalah suatu penalaran yang mendekati kesimpulan untuk suatu aturan fuzzy-set if-then. Langkah-langkah dari penalaran fuzzy adalah sebagai berikut:

1. "Masukkan Variabel-variabel pembanding pada MFs di *premis part* untuk memperoleh nilai-nilai keanggotaan dari tiap variable bahasa (*fuzzification*).

2. Nilai Keanggotaan di premise part dikombinasikan melalui operasi pada fuzzy-set seperti: min, max, atau perkalian untuk mendapatkan hasil dari tiap aturan.
3. Sebagai akibat dari berkwalitasnya himpunan fuzzy atau himpunan *crisp* yang dihasilkan bergantung pada *kekuatan tembak*.
4. Untuk menghasilkan output maka dikumpulkan himpunan *crisp* menurut metode-metode yang digambarkan seperti: pusat luas dari bidang, garis bagi dari bidang, cara maksimum, *supremum* dan *infimum* (*defuzzification*) (Jang 1993)".

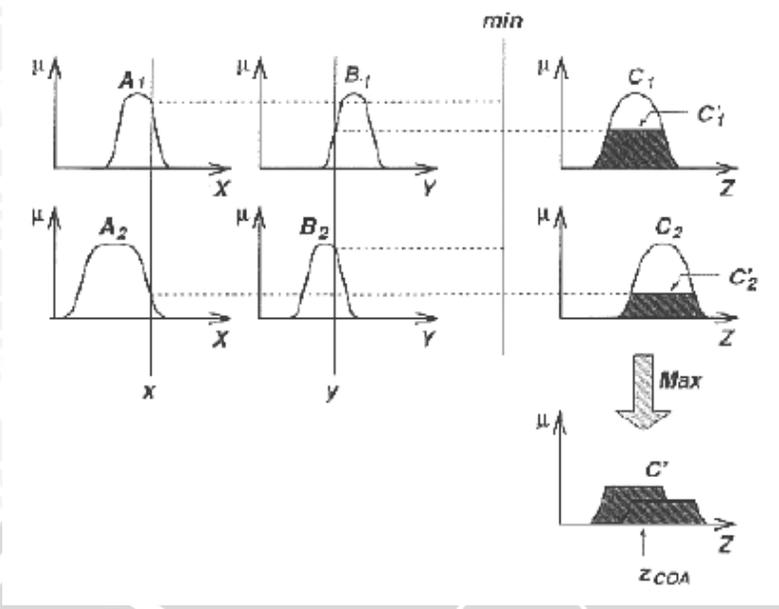
2.10 Fuzzy System

Sistem fuzzy didasarkan dari suatu basis pengetahuan dan mekanisme penalaran yang disebut *fuzzy inference engine*. Struktur dari *fuzzy inference engine* ditunjukkan di dalam Gambar 2.9. Suatu *fuzzy inference engine* dikombinasikan dengan aturan fuzzy *if-then* untuk menjalankan suatu sistem pemetaan dari input sampai output nya, dengan menggunakan metode-metode penalaran fuzzy (Czogala dan Leski 2002). system fuzzy yang menunjukkan aturan dasar dari pemetaan taklinear yang disertai oleh aturan fuzzy *if-then*. Masing-masing aturan ini diuraikan dalam pemetaan-pemetaan lokal. Aturan dasar yang dibangun adalah aturan-aturan menggunakan data input-output kuantitatif.

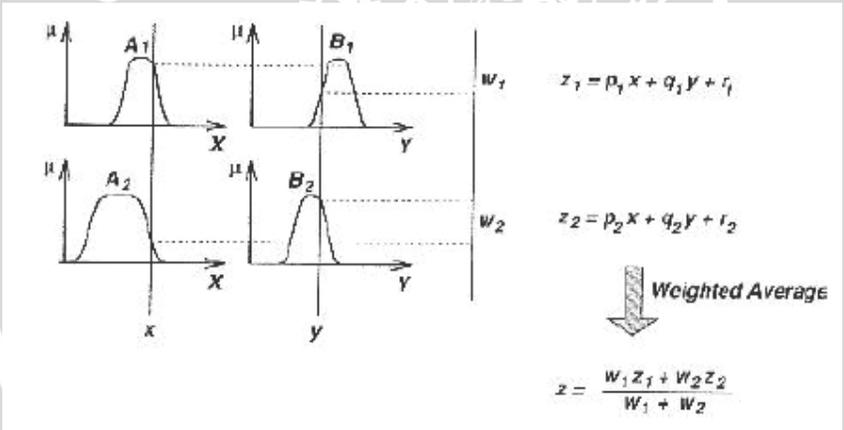


Gambar 2.9 Fuzzy Inference Engine

Sistem fuzzy Mamdani dan Takagi-Sugeno adalah contoh dari fuzzy inference sistem. Fuzzy inference sistem Mamdani pertama digunakan untuk mengendalikan suatu kombinasi mesin uap dan ketel uap oleh satu himpunan variabel bahasa dari operator manusia (Mamdani dan Assilian 1975). Gambar 2.10 menggambarkan bagaimana suatu dua aturan fuzzy inference system Mamdani menghasilkan keseluruhan dari output (misal z) ketika diperlakukan pada dua klasifikasi input x dan y . Fuzzy inference system Takagi-Sugeno pertama diperkenalkan oleh Takagi dan Sugeno (1985). Perbedaan dari Takagi-Sugeno adalah model dari masing-masing aturan mempunyai suatu keluaran crisp (yang tegas), dan keseluruhan output ditentukan sebagai rata-rata dari keluaran aturan-aturan yang tunggal. Fuzzy inference system jenis ini ditunjukkan di dalam Gambar 2.11



Gambar 2.10 fuzzy inference system Mamdani



Gambar 2.11 fuzzy inference sistem Takagi-Sugeno

2.11 Pengertian ANFIS

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah 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).

2.12 Arsitektur ANFIS

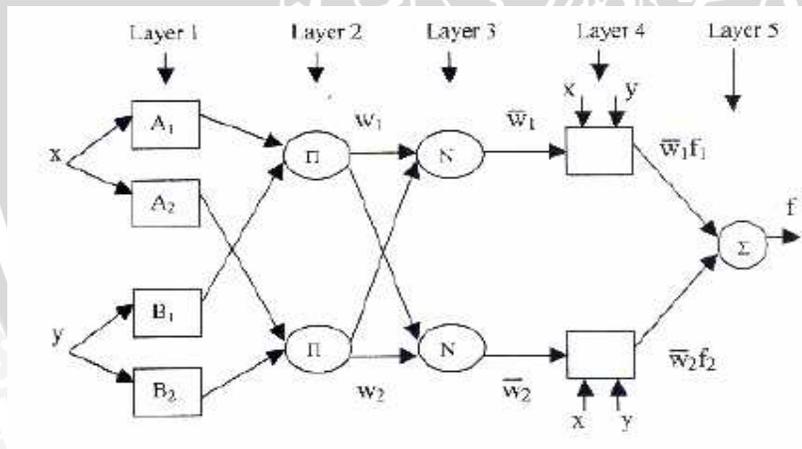
Misalkan ada 2 input x, y dan satu output f . Ada dua aturan pada basis aturan model sugeno:

Rule1: If x is A_1 and y is B_2 , then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Rule2: If x is A_2 and y is B_1 , then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Jika a predikat untuk kedua aturan yaitu w_1 dan w_2 , maka dapat dihitung rata-rata terbobot:

$$y = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2}{w_1 + w_2}$$



Gambar 2.12 Struktur dasar dari ANFIS

Arsitektur ANFIS Sugeno terdiri atas lima lapis, dan setiap lapis terdapat node. Terdapat dua macam node yaitu node adaptif (bersimbol kotak) dan node tetap (bersimbol lingkaran). Fungsi dari setiap lapis tersebut adalah sebagai berikut:

Lapisan 1

Setiap node i pada lapisan 1 ini adalah node adaptif dengan fungsi node sebagai berikut.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \text{ untuk } i = 1,2 \text{ dan}$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_i} - 2(y), \text{ untuk } i = 1,2$$

Dengan x (atau y): masukan ke node i .

$\mu_{A_i}(X)$ atau $\mu_{B_i} - 2(y)$: label linguistik (seperti 'besar' atau 'kecil') yang terkait dengan node tersebut.

$O_{1,i}$ derajat keanggotaan himpunan fuzzy A_1, A_2 atau B_1, B_2 .

Lapisan 2

Setiap node pada lapisan ini adalah node tetap berlabel dengan keluarannya adalah produk dari semua sinyal yang datang

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

Setiap keluaran node dari lapisan ini menyatakan kuat penyulutan dari aturan.

Lapisan 3

Setiap node pada lapisan ini adalah node tetap berlabel N . Node 1 menghitung rasio dari kuat penyulutan aturan ke i terhadap jumlah semua kuat penyulutan dari semua aturan.

$$O_{3,i} = w_i / (w_1 + w_2), \quad i = 1,2$$

Keluaran lapisan ini disebut kuat penyulutan ternormalisasi

Lapisan 4

Setiap node pada lapisan ini adalah node adaptif dengan fungsi node:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

Dengan

W_i : Kuat penyulutan ternormalisasi dari lapisan 3

(p_i, q_i, r_i) : Himpunan parameter dari node ini. Parameter pada lapisan ini disebut parameter konsekuensi.

Lapisan 5

Node tunggal pada lapisan ini adalah node tetap berlabel Σ yang menghitung keluaran

keseluruhan sebagai penjumlahan semua sinyal yang datang.

$$\text{overalloutput} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i W_i f_i}{\sum_i W_i}$$

2.13 Model Propagasi Error

Selanjutnya, jaringan adaptif tersebut dapat kita latih untuk mendapatkan nilai parameter a dan c , pada persamaan pada lapisan 1 dengan mengambil nilai $b = 1$, sehingga menjadi:

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

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

Misalkan kita memiliki jaringan adaptif seperti terlihat pada gambar 2.12 yang terdiri atas 5 lapisan, dan kita memiliki sebanyak $N(L)$ neuron pada lapisan ke- L , maka jumlah kuadrat error (SSE) pada lapisan ke- L data ke- p , $1 \leq p \leq N$, adalah:

$$E_p = \sum_{k=1}^{N(L)} (d_k - X_{L,k})^2$$

2.13.1 Error pada Lapisan ke-5

Apabila kita memilih jaringan adaptif seperti pada gambar 2.12, yang hanya memiliki 1 neuron pada lapisan output (neuron 13), maka propagasi error yang menuju pada lapisan ke-5 dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dengan y_p adalah target output data pelatihan ke- p , dan adalah output jaringan pada data pelatihan ke- p .

2.13.2 Error pada Lapisan ke-4

Lihat kembali jaringan adaptif pada gambar 2.12. propagasi error yang menuju pada lapisan ke-4, yaitu neuron 11 dan neuron 12 dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

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

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

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

2.13.3 Error pada Lapisan ke-3

Lihat kembali jaringan adaptif pada gambar 2.12. propagasi error yang menuju pada lapisan ke-3 yaitu neuron 9 dan neuron 10 dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Karena $f_{11} = \overline{w_1} f_1$, maka $\frac{\partial f_{11}}{\partial (\overline{w_1})} = f_1$

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

Karena $f_{12} = \overline{w_2} f_2$, maka $\frac{\partial f_{12}}{\partial (\overline{w_2})} = f_2$

2.13.4 Error pada Lapisan ke-2

Lihat kembali jaringan adaptif pada gambar 2.12. propagasi error yang menuju pada lapisan ke-2, yaitu neuron 7 dan neuron 8 dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.13.5 Error pada Lapisan ke-1

Lihat kembali jaringan adaptif pada gambar 2.12. propagasi error yang menuju pada lapisan ke-1, yaitu neuron 3, 4, 5, dan 6 dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

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

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_5} \right) = \varepsilon_7 \mu_{A1}(x_1)$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_6} \right) = \varepsilon_8 \mu_{A1}(x_1)$$

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 $f_8 = (\mu_{A2}(x_1))(\mu_{B2}(x_2))$, 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 kita gunakan 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:

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

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

$$= \varepsilon_{a11} \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_4(0)$$

$$= \varepsilon_{a11} \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^3 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\varepsilon_{c_{11}} &= \varepsilon_3 \left(\frac{\partial f_3}{\partial c_{11}} \right) + \varepsilon_4 \left(\frac{\partial f_4}{\partial c_{11}} \right) \\ &= (\varepsilon_3) \frac{2(x_1 - c_{11})^2}{a_{11}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{11}}{a_{11}} \right)^2 \right)^2} + \varepsilon_4(0)\end{aligned}$$

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

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

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

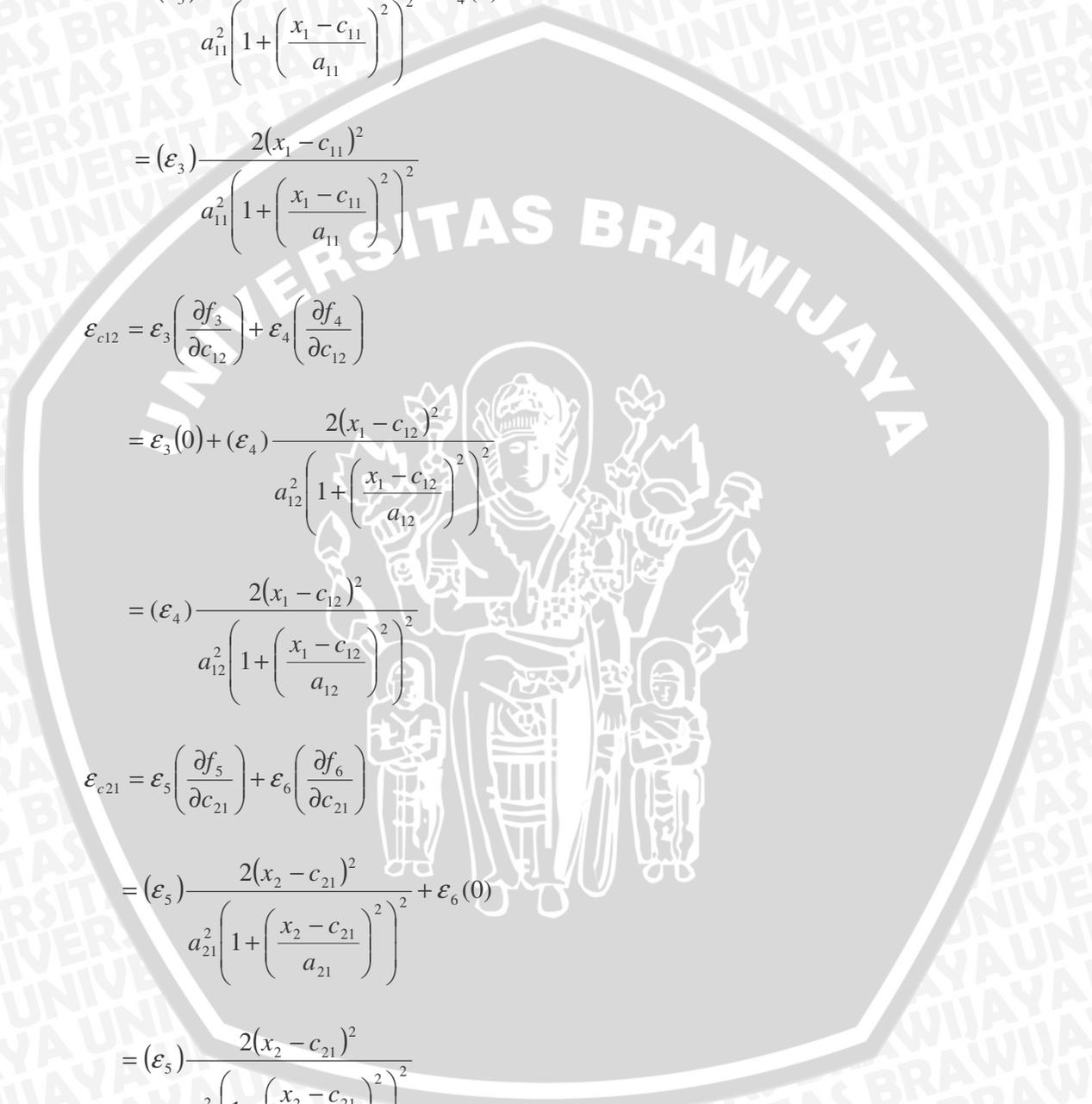
$$= (\varepsilon_4) \frac{2(x_1 - c_{12})^2}{a_{12}^2 \left(1 + \left(\frac{x_1 - c_{12}}{a_{12}} \right)^2 \right)^2}$$

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

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

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

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



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

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

Dari sini, kita dapat menentukan perubahan nilai parameter a_{ij} dan c_{ij}

(Δa_{ij} dan Δc_{ij}) sebagai berikut:

$$\Delta a_{ij} = \eta \varepsilon_{aij} x_i, \text{ dan}$$

$$\Delta c_{ij} = \eta \varepsilon_{cij} x_i$$

Dengan h adalah laju pembelajaran yang terletak pada interval $[0,1]$. Sehingga

nilai a_{ij} dan c_{ij} yang baru adalah:

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

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

2.14 Algoritma Pelatihan Hybrid

ANFIS dilatih dengan algoritma pelatihan *hybrid*. Algoritma pelatihan *hybrid* terdiri atas dua langkah, yaitu langkah maju dan langkah balik.

1. Pada langkah maju, parameter premis tetap, sedangkan parameter konsekuensi diidentifikasi dengan metode LSE (*Least Squares Estimator*).

Dari arsitektur ANFIS, bila parameter premis tetap (maka w_i juga tetap), maka keluaran keseluruhan dapat dinyatakan dengan kombinasi linier dari parameter konsekuensi.

2. Pada langkah balik diperlukan dengan metode penurunan gradien.

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2$$

$$f = \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2)$$

$$f = (\bar{w}_1x)p_1 + (\bar{w}_1y)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2x)p_2 + (\bar{w}_2y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2$$

Yang linier dalam parameter p_1, q_1, r_1, p_2, q_2 and r_2 , untuk P pasangan data pelatihan masukan: $x_{(1)}, y_{(1)}, x_{(2)}, y_{(2)}, \dots, x_{(p)}, y_{(p)}$ dan keluaran: $f_{(1)}, f_{(2)}, \dots, f_{(p)}$, maka diperoleh persamaan linear simultan berikut.

$$\begin{aligned} f_{(1)} &= (\bar{w}_1x_1)p_1 + (\bar{w}_1y_1)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2x_1)p_2 + (\bar{w}_2y_1)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \\ &= (\bar{w}_1x_2)p_1 + (\bar{w}_1y_2)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2x_2)p_2 + (\bar{w}_2y_2)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ &= (\bar{w}_1x_p)p_1 + (\bar{w}_1y_p)q_1 + (\bar{w}_1)r_1 + (\bar{w}_2x_p)p_2 + (\bar{w}_2y_p)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \end{aligned}$$

Dalam notasi matriks persamaan tersebut dapat ditulis:

$$F = A\theta$$

Dengan F adalah vektor keluaran $P \times 1$:

$$F = \begin{bmatrix} f_{(1)} \\ f_{(2)} \\ \vdots \\ f_{(p)} \end{bmatrix}$$

A adalah matriks berdimensi $P \times 6$ yang dalam LSE disebut matriks desain:

$$A = \begin{bmatrix} \bar{w}_1 x_1 & \bar{w}_1 y_1 & \bar{w}_1 & \bar{w}_2 x_1 & \bar{w}_2 y_1 & \bar{w}_2 \\ \bar{w}_1 x_2 & \bar{w}_1 y_2 & \bar{w}_1 & \bar{w}_2 x_2 & \bar{w}_2 y_2 & \bar{w}_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{w}_1 x_p & \bar{w}_1 y_p & \bar{w}_1 & \bar{w}_2 x_p & \bar{w}_2 y_p & \bar{w}_2 \end{bmatrix}$$

Dan q adalah vektor parameter 6×1 yang dicari:

$$\theta = \begin{bmatrix} p_1 \\ q_1 \\ r_1 \\ p_2 \\ q_2 \\ r_2 \end{bmatrix}$$

Kemudian dicari q yang meminimkan jumlah galat kuadrat yaitu sebagai berikut:

Misalnya jaringan adaptif yang ditinjau hanya mempunyai satu keluaran y , maka keluaran ini dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$y = F(U, S) \dots\dots\dots(1)$$

Dengan

U : Vektor variabel masukan

S : Himpunan parameter

F : Fungsi keseluruhan yang diimplementasikan oleh jaringan adaptif

bila ada fungsi H sedemikian sehingga fungsi komposisi $H \circ F$ adalah linier dengan beberapa elemen S , maka elemen-elemen ini dapat diidentifikasi dengan metode LSE.

Bila himpunan parameter S dapat dibagi menjadi dua himpunan sebagai berikut.

$$S = S_1 \oplus S_2 \dots\dots\dots(2)$$

(dengan \oplus : penjumlahan langsung) sedemikian sehingga $H \circ F$ adalah linier pada elemen S_2 , maka dengan menerapkan H ke pers. (1) diperoleh:

$$\begin{aligned} H(y) &= H \circ F(U, S) \\ &= H \circ F(U, S_1 \oplus S_2) \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Yang linier dalam elemen S_2

Bila elemen S_1 tetap sedangkan $H(y)$ dan $F(S_2)$ adalah fungsi identitas, maka:

$$y = \theta_1 f_1(U) + \theta_2 f_2(U) + \dots + \theta_n f_n(U) \dots\dots\dots(4)$$

dengan

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$: Elemen parameter S_2

$U = [u_1, u_2, u_3, \dots, u_p]$: Vektor masukan model

$f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$: Fungsi u yang diketahui

Dalam statistik, *fitting* data dengan menggunakan model linier disebut regresi linier.

Maka pers. (4) disebut fungsi regresi dan θ_i disebut koefisien regresi.

Untuk identifikasi parameter θ_i , maka dilakukan eksperimen untuk memperoleh himpunan data pelatihan yang tersusun atas pasangan data

$$\{(u_i, y_i), i = 1, \dots, m\} \text{ dengan } m \geq n$$

Yang menyatakan pasangan masukan-keluaran dari sistem target yang dimodelkan.



Substitusi setiap pasangan ke pers. (4) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 f_1(u_1)\theta_1 + f_2(u_1)\theta_2 + \dots + f_n(u_1)\theta_n &= y_1 \\
 f_1(u_2)\theta_1 + f_2(u_2)\theta_2 + \dots + f_n(u_2)\theta_n &= y_2 \\
 \dots & \\
 f_1(u_m)\theta_1 + f_2(u_m)\theta_2 + \dots + f_n(u_m)\theta_n &= y_m
 \end{aligned}$$

Dengan notasi matrik dapat ditulis:

$$A\theta = y \dots \dots \dots (5)$$

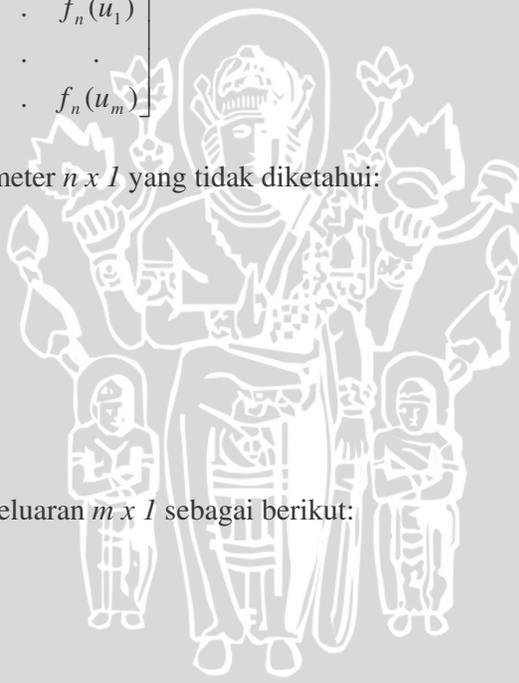
Dengan

A : Matriks $m \times n$ sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} f_1(u_1) & \dots & f_n(u_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ f_1(u_m) & \dots & f_n(u_m) \end{bmatrix}$$

θ adalah vektor parameter $n \times 1$ yang tidak diketahui:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \dots \\ \theta_n \end{bmatrix}$$



Dan y adalah vektor keluaran $m \times 1$ sebagai berikut:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_m \end{bmatrix}$$

Baris ke i dari data $[A: y]$ yang dinotasikan dengan $(a_i^T; y_i)$ adalah terelasi dengan pasangan data (u_i, y_i) dengan:

$$a_i^T = [f_1(u_i), \dots, f_n(u_i)]$$



Karena hampir semua perhitungan berdasarkan pada matriks A dan vektor y , maka $(a_i^T; y_i)$ disebut pasangan data ke i dari himpunan data pelatihan.

Bila $m = n$ (A persegi) dan A nonsingular, maka q dapat diperoleh dari pers.(5) sebagai berikut:

$$\theta = A^{-1}y$$

Tetapi biasanya $m > n$, berarti pasangan data pelatihan lebih banyak dari pada parameter *fitting*. Dalam kasus ini solusi eksak yang memenuhi m pasangan tidak selalu mungkin, karena data bisa terkontaminasi dengan derau, atau model tidak sesuai untuk menggambarkan system target. Maka pers. (5) harus dimodifikasi dengan menerapkan vektor galat e untuk memperhitungkan derau acak atau galat pemodelan sebagai berikut:

$$A\theta + e = y \dots\dots\dots(6)$$

Sekarang dari pada mencari solusi eksak dari pers. (5), dicari $\theta = \hat{\theta}$ yang meminimkan jumlah galat kuadrat yang didefinisikan oleh:

$$\begin{aligned} E(\theta) &= \sum_{i=1}^m (y_i - a_i^T)^2 = e^T \\ &= (y - A\theta)^T (y - A\theta) \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

Dengan $e = (y - A\theta)$ adalah vektor galat yang dihasilkan oleh pemilihan θ tertentu.

Terlihat bahwa $E(\theta)$ adalah kuadratis dan mempunyai suatu minimum unik pada $\theta = \hat{\theta}$

Teorema berikut menyatakan syarat yang harus dipenuhi oleh estimator kuadrat terkecil (*Least Square Estimator*, LSE) $\hat{\theta}$.

Teorema: **Least Square Estimator**

Estimator yang meminimkan kuadrat pers.(7) bila $\theta = \hat{\theta}$ disebut **Least Square Estimator (LSE)** yang memenuhi persamaan normal:

$$A^T A \hat{\theta} = A^T y$$

Bila $A^T A$ non singular, maka $\hat{\theta}$ adalah unik dan diberikan oleh:

$$\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y \dots\dots\dots(8)$$

Bukti

Ada beberapa metode untuk memperoleh LSE pers.(5). Salah satu pendekatan langsung adalah dengan membuat nol derivatif $E(\theta)$ terhadap θ . Dengan mengekspansikan $E(\theta)$ pers.(7) diperoleh:

$$\begin{aligned} E(\theta) &= (y^T - \theta^T A^T)(y - A\theta) \\ &= \theta^T A^T A \theta - 2y^T A \theta + y^T y \end{aligned}$$

Maka derivatif $E(\theta)$ adalah:

$$\frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta} = 2A^T A \hat{\theta} - 2A^T y$$

Dengan membuat:

$$\frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta} = 0 \text{ pada } \theta = \hat{\theta} \text{ maka diperoleh persamaan normal: } A^T A \hat{\theta} = A^T y \text{ bila}$$

$A^T A$ nonsingular, maka $\hat{\theta}$ dapat diselesaikan secara unik: $\hat{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T y$

Di dalam skripsi ini, ANFIS dirancang sebagai satu penaksir. Penilaian dilaksanakan untuk komposisi-komposisi dari pengukuran temperatur di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan dan penyulingan kolom *batch* sedangkan strategi pengawasan memerlukan penyesuaian dari proses jaringan yang tidak dapat terpisah dari model pengontrol ANFIS.



2.15 Langkah Balik dengan Menggunakan Metode Penurunan Gradien

Terdapat beberapa metode penurunan gradien (gradient descent, GD) dalam masalah optimisasi, antara lain sebagai berikut.

- ✓ Metode penurunan tercuram (steepest descent, SD)
- ✓ Metode Newton yang terdiri atas Newton klasik, Newton termodifikasi (Levenberg Marquardt), dan Quasi Newton.
- ✓ Metode *Conjugate Gradient*

Dalam pembahasan ini akan dibahas metode SD karena lebih sederhana.

Dari arsitektur ANFIS gambar 2.9 dimisalkan bahwa himpunan data penelitian mempunyai P pasangan masukan-keluaran yang diinginkan. Ukuran galat untuk masukan ke p ($1 \leq p \leq P$) adalah jumlah galat kuadrat. Dari semua node keluaran.

$$E_p = \sum_{k=1}^N (d_{p,k} - f_{p,k})^2$$

Dengan

Subskrip k : komponen ke k ($1 \leq k \leq N$) dari seluruh node keluaran

$d_{p,k}$: keluaran yang diinginkan pada node ke k untuk masukan ke p .

$f_{p,k}$: keluaran aktual pada node ke k untuk masukan ke p

Karena untuk kasus ANFIS di atas hanya terdapat satu node keluaran maka:

$$E_p = (d_p - f_p)^2$$

Yang menjadi tujuan adalah meminimasi seluruh galat untuk seluruh P pasangan masukan – keluaran pelatihan yang didefinisikan sebagai:

$$E = \sum_{p=1}^P E_p$$

Dengan menggunakan metode penurunan gradient SD sederhana tanpa minimisasi garis, maka formula pembaruan parameter generik α (misalnya parameter premis: a, b, c) adalah sebagai berikut:

$$\Delta\alpha = -\eta \frac{\partial^+ E}{\partial\alpha}$$

Dengan derivatif beruntun (ordered derivative) terhadap α dari galat keseluruhan E yang didefinisikan oleh:

$$\frac{\partial^+ E}{\partial\alpha} = \sum_{p=1}^p \frac{\partial^+ E_p}{\partial\alpha}$$

Yang merupakan vektor gradient (derivatif orde satu).

Sedangkan η adalah laju pelatihan (digunakan konstanta yang kecil untuk metode tanpa minimisasi garis) yang didefinisikan oleh:

$$\eta = \frac{k}{\sqrt{\sum_{\alpha} \left(\frac{\partial E}{\partial\alpha}\right)^2}}$$

Dengan

K : ukuran langkah (step size) riil yang merupakan jarak Euclidean dari perubahan parameter sepanjang arah gradient di dalam ruang parameter

$$\text{atau } K = \left\| \alpha_{\text{selanjutnya}} - \alpha_{\text{sekarang}} \right\|$$

Untuk menghitung vektor gradien, bila parameter a mempengaruhi beberapa node digunakan formula sebagai berikut.

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial\alpha} = \sum_{O^* \in S} \frac{\partial^+ E_p}{\partial O^*} \frac{\partial F^*}{\partial\alpha}$$

Dengan S adalah himpunan node yang dipengaruhi oleh parameter α . Sedangkan

O^* dan F^* adalah keluaran dan fungsi dari node di dalam S .

Misalkan untuk model ANFIS Sugeno maka node yang dipengaruhi oleh parameter a di dalam node $O_{1,1}$ adalah node: $O_{2,1}$, $O_{3,1}$, $O_{3,2}$, $O_{4,1}$, $O_{4,2}$, dan O_5 .

Setiap node $O_{i,i}$ mempunyai fungsi node $F_{i,i}$ dengan $i = 1, 2, \dots, 5$ dan $I = 1, 2$.

Untuk menghitung $\partial^+ E_p / \partial a$ dapat digunakan aturan berantai berikut (untuk mudahnya penulisan subskrip P berikut ini dihilangkan)

$$\frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} = \frac{\partial^+ E}{\partial O_{1,1}} \frac{\partial F_{1,1}}{\partial \alpha} = \frac{\partial^+ E}{\partial O_{2,1}} \frac{\partial F_{2,1}}{\partial O_{1,1}} \frac{\partial F_{1,1}}{\partial \alpha} = \frac{\partial^+ E}{\partial O_{2,1}} \times \mu_{B1} \times \frac{\mu_{A1}}{\partial \alpha}$$

Sedangkan

$$\begin{aligned} \frac{\partial^+ E}{\partial O_{2,1}} &= \frac{\partial^+ E}{\partial O_{3,1}} \frac{\partial F_{3,1}}{\partial O_{2,1}} + \frac{\partial^+ E}{\partial O_{3,2}} \frac{\partial F_{3,2}}{\partial O_{2,1}} \\ &= \frac{\partial^+ E}{\partial O_{4,1}} \frac{\partial F_{4,1}}{\partial O_{3,1}} \frac{\partial F_{3,1}}{\partial O_{2,1}} + \frac{\partial^+ E}{\partial O_{4,2}} \frac{\partial F_{4,2}}{\partial O_{3,2}} \frac{\partial F_{3,2}}{\partial O_{2,1}} \\ &= \frac{\partial^+ E}{\partial O_5} \frac{\partial F_5}{\partial O_{4,1}} \frac{\partial F_{4,1}}{\partial O_{3,1}} \frac{\partial F_{3,1}}{\partial O_{2,1}} + \frac{\partial^+ E}{\partial O_5} \frac{\partial F_5}{\partial O_{4,2}} \frac{\partial F_{4,2}}{\partial O_{3,2}} \frac{\partial F_{3,2}}{\partial O_{2,1}} \\ &= \epsilon_5 \times 1 \times f_1 \times \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} + \epsilon_5 \times 1 \times f_2 \times \frac{(-w_2)}{(w_1 + w_2)^2} \end{aligned}$$

Dengan

$$\epsilon_5 = \epsilon_5 = \frac{\partial E}{\partial O_5} = \frac{\partial (d - O_5)^2}{\partial O_5} = -2(d - O_5)$$

d = keluaran yang diinginkan

Maka

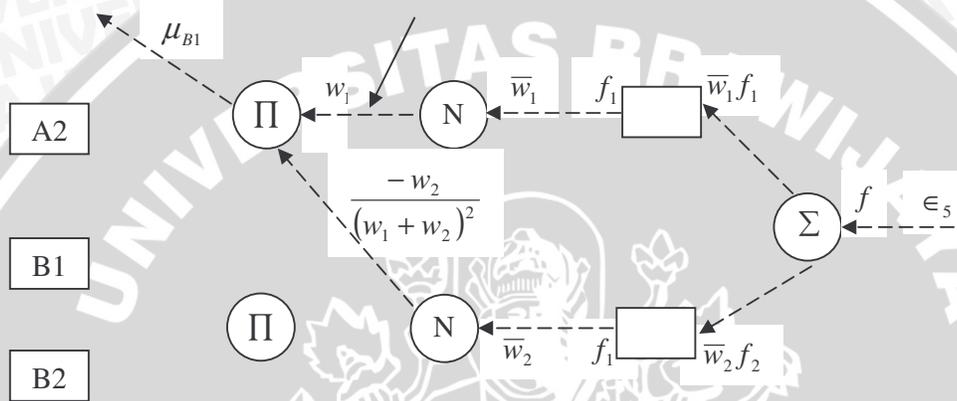
$$\frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} = (f_1 - f_2) \frac{\epsilon_5 w_2 \mu_{B1}}{(w_1 + w_2)^2} \frac{\partial \mu_{A1}}{\partial \alpha}$$

Dan

$$\Delta \alpha = -\eta (f_1 - f_2) \frac{\epsilon_5 w_2 \mu_{B1}}{(w_1 + w_2)^2} \frac{\partial \mu_{A1}}{\partial \alpha}$$

Gambar berikut ini menunjukkan perambatan balik galat dari node keluaran ke node $O_{1,1}$.

Terlihat bahwa faktor $\frac{\partial F_{l+1}}{\partial O_l}$ merupakan bobot interkoneksi antara node O_{l+1} dan node O_l .



Gambar 2.13 Model perambatan balik galat ke node $O_{1,1}$

2.16 Metode Penurunan

Metode penurunan (Descent) bertujuan untuk meminimasi fungsi obyektif E yang didefinisikan di dalam ruang masukan n dimensi $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]^T$. Minimisasi ini dilakukan dengan mencari titik minimum (bisa minimum local) $q = q^*$ yang meminimalkan $E(\theta)$.

Umumnya fungsi obyektif E mempunyai bentuk nonlinier terhadap parameter θ yang dapat diatur. Karena kompleksitas E , maka digunakan algoritma iteratif untuk mengeksplorasi ruang masukan secara efisien. Pada metode penurunan

iteratif, titik selanjutnya θ_{k+1} ditentukan dengan melangkah turun dari titik ini

(sekarang) θ_k menurut **Vektor arah (direction) d** :

$$\theta_{selanjutnya} = \theta_{kini} + \eta d$$

Atau ditulis dengan formula berikut:

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \eta_k d_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

Dengan

k : nomor iterasi ke k

η_k : ukuran langkah (step size) pada iterasi ke k

Komputasi $\eta_k d_k$ dilakukan dalam dua langkah: pertama menentukan arah d , dan kemudian menghitung ukuran langkah η . Titik selanjutnya θ_{k+1} harus memenuhi ketidaksamaan berikut.

$$E(\theta_{selanjutnya}) = E(\theta_{kini} + \eta d) < E(\theta_{kini})$$

Perbedaan utama antara berbagai algoritma penurunan gradient adalah terletak pada prosedur pertama untuk menentukan arah selanjutnya. Setelah keputusan arah diambil, semua algoritma menuju ke titik minimum lewat garis yang berangkat dari θ_k dengan arah d . Maka pada langkah kedua, ukuran langkah optimum dapat ditentukan dengan minimisasi garis.

$$\eta^* = \arg \min_{\eta > 0} \phi(\eta)$$

Dengan

$$\phi(\eta) = E(\theta_k + \eta d)$$

Pencarian η^* dilakukan dengan metode pencarian garis (*line search*)

2.17 Metode Penurunan Berbasis Gradient

Metode penurunan berbasis gradient adalah metode yang mana arah penurunan d yang lurus ditentukan berdasarkan pada gradient (g) dari fungsi obyektif E .

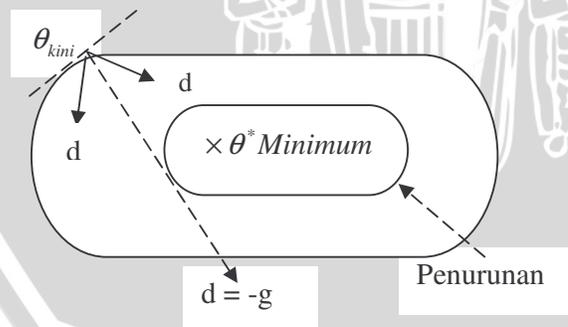
Gradient fungsi terdiferensialkan $E: R^n \rightarrow R$ pada θ adalah vektor derivatif pertama dari E yang dinyatakan dengan g , yaitu:

$$g(\theta) = \nabla E(\theta) = \left[\frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta_1}, \frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta_2}, \dots, \frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta_n} \right]^T$$

Umumnya berdasar pada gradient, arah penurunan yang layak (*feasible*) memenuhi syarat sebagai berikut (meskipun tidak menjamin konvergen):

$$\phi'(0) = \frac{dE(\theta_{kini} + \eta d)}{d\eta} \Big|_{\eta=0} = g^T d = \|g^T\| \|d\| \cos(\xi(\theta_{kini})) < 0$$

Dengan ξ adalah sudut antara g dan d , dan $\xi(\theta_{kini})$ menunjukkan sudut antara g_{kini} dan d pada titik kini θ_{kini} seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.14 Arah penurunan d yang layak dari θ_{kini} .

Untuk $d = -g$ merupakan arah penurunan tercuram

Hal ini dibuktikan dengan ekspansi deret Taylor untuk E :

$$E(\theta_{kini} + \eta d) = E(\theta_{kini}) + \eta g^T d + O(\eta^2)$$

Suku kedua ruas kanan mendominasi suku ketiga dan suku orde tinggi yang lain bila $\eta \rightarrow 0$. Dengan h positif yang sangat kecil, ketidaksamaan

$$E(\theta_{selanjutnya}) = E(\theta_{kini} + \eta d) < E(\theta_{kini}) \text{ dipenuhi bila:}$$

$$g^T d < 0$$

Satu kelas metode penurunan berbasis gradient, arah penurunannya ditentukan oleh perkalian dengan matriks pembelok G sehingga diperoleh gradient-gradient terbelok (*deflected gradient*):

$$\theta_{selanjutnya} = \theta_{kini} - \eta Gg$$

Bila $d = -gG$, maka syarat penurunan persamaan

$$\phi'(0) = \left. \frac{dE(\theta_{kini} + \eta d)}{d\eta} \right|_{\eta=0} = g^T d = \|g^T\| \|d\| \cos(\xi(\theta_{kini})) < 0 \text{ dipenuhi, karena}$$

$$g^T d = -g^T Gg < 0$$

Bila $G = \eta I$ dengan nilai η positif dan I matriks identitas, maka persamaan

$$\theta_{selanjutnya} = \theta_{kini} - \eta Gg \text{ menjadi:}$$

$$\theta_{selanjutnya} = \theta_{kini} - \eta g$$

Yang dikenal dengan formula penurunan tercuram (*steepest descent*).

2.18 Metodologi Desain Sistem Fuzzy

2.18.1 Mendefinisikan Karakteristik Model Secara Fungsional dan Operasional

Pada bagian ini perlu diperhatikan karakteristik apa saja yang dimiliki oleh sistem yang ada, kemudian dirumuskan karakteristik operasi-operasi yang akan digunakan dalam model fuzzy. Ditentukan pula batasan-batasan model, berupa: perbendaharaan himpunan fuzzy, *hedge*, dan definisi dari beberapa variable.

2.18.2 Melakukan Dekomposisi Variabel Model Menjadi Himpunan Fuzzy

Dari variabel-variabel yang telah dirumuskan pada bagian 1 dibentuk himpunan-himpunan fuzzy yang berkaitan. Dalam membentuk himpunan fuzzy perlu diperhatikan domain yang juga telah disebutkan pada bagian 1.

2.18.3 Membuat Aturan Fuzzy

Aturan pada suatu model fuzzy menunjukkan bagaimana suatu sistem beroperasi. Secara umum aturan dituliskan sebagai:

If $(X_1 \text{ is } A_1) * (X_2 \text{ is } A_2) * (X_3 \text{ is } A_3) * \dots * (X_n \text{ is } A_n)$ *THEN* $Y \text{ is } B$

Dengan * adalah operator (Misal OR atau AND), X_i adalah skalar dan A_i adalah variabel linguistik. Apabila sistem tidak menggunakan hedge, maka variabel linguistiknya sama dengan himpunan fuzzy.

Untuk menulis aturan perlu diperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Kelompok semua aturan yang memiliki solusi pada variabel yang sama
2. Urutkan aturan sehingga mudah dibaca.
3. Gunakan identitas untuk memperlihatkan struktur aturan.
4. Gunakan penamaan yang umum untuk mengidentifikasi variabel-variabel pada kelas yang berbeda.
5. Gunakan komentar untuk mendeskripsikan tujuan dari suatu atau kelompok aturan.
6. Berikan spasi antar aturan.
7. Tuliskan variabel dengan huruf besar-kecil, himpunan fuzzy dengan huruf besar, dan elemen-elemen bahasa lainnya dengan huruf kecil.

a. Membentuk Aturan Terkondisi Biasa

Standar penulisan adalah:

IF *<ekspresi fuzzy>* THEN *<aksi fuzzy>*

Derajat keanggotaan aksi fuzzy tergantung dari derajat kebenaran proposisi pada antesedennya. Tiap-tiap aturan terkondisi akan menunjukkan kompatibilitas antara satu kelompok variabel kontrol dan satu atau lebih himpunan fuzzy. Nilai kebenaran yang dihasilkan akan membentuk daerah fuzzy yang berhubungan dengan satu variabel solusi.

b. Membentuk Aturan Tak Terkondisi

Suatu aturan tak terkondisi berisi suatu batasan pada konsekuen fuzzy. Aturan ini berfungsi sebagai pembatas pada kasus pemrograman linier.

c. Menyeleksi Operator-operator Pengganti untuk Aturan-aturan Khusus

Tidak selamanya aturan-aturan menggunakan operator standar Zadeh. Adakalanya digunakan operator-operator pengganti, maka perlu adanya penurunan aturan-aturan ini hingga didapat aturan yang standar.

d. Melihata Kembali Himpunan Aturan dan Tambahkan Beberapa Hedge

Jika model sistem mengandung hedge, maka perlu ada aturan tambahan untuk menghitung hedge.

e. Tambahkan α – cut untuk Tiap-tiap Aturan

Suatu α – cut berisi nilai ambang minimum kebenaran suatu aturan. Jika hasil evaluasi memiliki nilai kebenaran dibawah ambang, maka aturan tersebut tidak dieksekusi. Sebagai contoh:

IF Biaya Produksi BESAR *THEN* Produksi Barang TURUN ($\alpha = 0.2$)

Berarti, jika nilai kebenaran proposisi fuzzy biaya produksi BESAR kurang dari 0,2 maka aturan tersebut tidak dieksekusi.

f. Masukkan Bobot Eksekusi Aturan

Pada beberapa model fuzzy, suatu aturan dapat diboboti dengan cara menambahkan suatu pengali bobot pada aturan tersebut sebagai contoh:

IF Biaya Produksi BESAR *THEN* Produksi Barang TURUN ($w=0,8$)

berarti, nilai kebenaran proposisi fuzzy biaya produksi BESAR akan dikalikan dengan 0,8 (pengurangan 20%)

2.19 Menentukan Metode Defuzzy untuk Tiap-tiap Variabel Solusi

Pada tahap defuzzyfikasi akan dipilih suatu nilai dari suatu variabel solusi yang merupakan konsekuen dari daerah fuzzy. Metode yang paling sering digunakan adalah metode *centroid*. Metode ini paling konsisten dan memiliki tinggi serta lebar total daerah fuzzy yang sensitif.

2.20 Menjalankan Simulasi Sistem

Pada tahap ini, dibuat simulasi sistem secara lengkap. Simulasi harus memberikan kemudahan bagi user. Perlu dipertimbangkan juga kemungkinan pengembangannya. Untuk itu, pada program simulasi perlu disertakan editor untuk:

- a. Perbaiki variabel model input/output,
- b. Perbaiki himpunan fuzzy,
- c. Perbaiki aturan,
- d. Pilihan metode defuzzyfikasi.

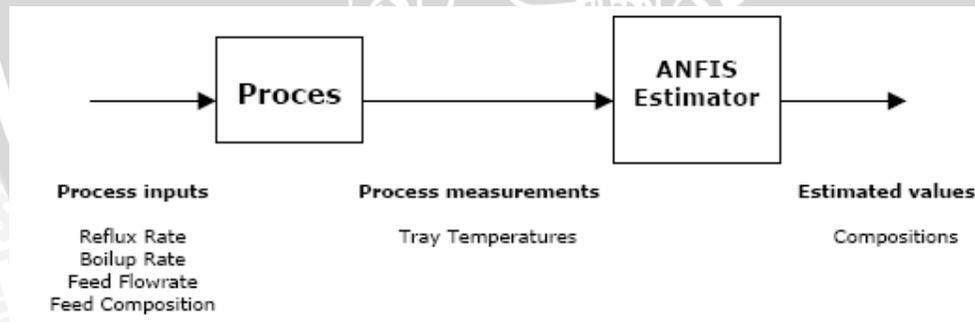
2.21 Pengujian: Pengaturan dan Validasi Model

Dari program simulasi yang sudah dibentuk, diujikan untuk beberapa nilai input untuk mendapatkan kebenaran dan validasi output. Apabila hasil yang diperoleh selama pengujian kurang sesuai dengan yang diharapkan, maka diulangi lagi pada proses dekomposisi variabel ke himpunan fuzzy. Sebaliknya, jika hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka program langsung dapat dihubungkan dengan sistem produksi.

2.22 ANFIS Sebagai Suatu Penaksir (Estimator)

ANFIS dapat digunakan untuk penilaian beberapa variabel terikat di dalam proses kimia. penaksir ANFIS yang dirancang digunakan untuk menyimpulkan/menduga komposisi-komposisi dari temperatur-temperatur dari baki yang terukur di dalam penyulingan kolom *batch* dan penyulingan kolom berkelanjutan. Rencana penilaian ditunjukkan di dalam gambar 2.15. Di dalam proses desain penaksir, ANFIS yang lain juga dibangun dan dilatih untuk menemukan arsitektur yang memberi kinerja terbaik sebagai suatu penaksir. Untuk mendisain suatu penaksir, pertama, data pelatihan kita tentukan untuk melatih jaringan penaksir. Data penaksir input ini kita proses dan mendapatkan hasil nilai-nilai output yang diinginkan. Karena ANFIS adalah suatu metode

pengolahan data dan perlu diperhatikan juga bahwa data input-output harus ada dalam cakupan operasional termasuk nilai maksimum dan minimum dan variabel-variabel input dan output dari sebuah sistim. setelah menghasilkan data pelatihan, penaksir-penaksir yang mempunyai arsitektur-arsitektur yang lain dilatih dengan data yang diperoleh. Kinerja-kinerja dari penaksir-penaksir yang dilatih dievaluasi dengan simulasi-simulasi model dan arsitektur penduga terbaik yang diperoleh. Simulasi-simulasi ini dibuat untuk memverifikasi dan untuk menyamaratakan struktur-struktur ANFIS. Verifikasi dilaksanakan untuk menunjukkan bagaimana hasil yang baik dari struktur penaksir data pelatihan yang diberi. Verifikasi seperti ini dilaksanakan dengan peniruan dari model kolom dengan proses awal yang spesifik digunakan di dalam memperoleh data pelatihan. Kemampuan penyamarataan dari penaksir-penaksir itu ditemukan dengan simulasi-simulasi yang lain di mana variabel-variabel proses masukan di dalam cakupan operasional yang digunakan di dalam formasi data pelatihan.



Gambar 2.15 Estimation yang menggunakan penaksir ANFIS

Desain penaksir dari struktur ANFIS terdiri dari dua bagian: membangun dan pelatihan. Di dalam bagian membangun parameter struktur ditentukan terdiri dari *Membership Functions (MFs)* sebagai input dan jenis dari keluaran adalah

MF. Setiap dari beberapa MFs seperti bentuk Segitiga, dan Gaussian dapat digunakan sebagai satu masukan MF. Nomor dari MFs dari masing-masing input dapat dipilih sebagai 3, 5, dan 7 untuk menggambarkan label-label variabel bahasanya. Keluaran MFs adalah suatu konstan atau di dalam transformasi pecahan linear. Setelah menggambarkan nomor dan jenis dari masukan MFs, dasar aturan penaksir dilembagakan. Oleh karena itu, basis aturan dari penaksir-penaksir itu dibentuk secara otomatis dengan banyaknya masukan-masukan dan nomor dari MFs. Setelah struktur ANFIS dibangun, algoritma pelajaran dan parameter-parameter pelatihan dipilih. Seperti yang dijelaskan di atas, *hybrid* atau dapat digunakan sebagai suatu algoritma pelajaran. Parameter-parameter di dalam algoritma itu adalah seluruh data, maka toleransi kesalahan, ukuran langkah awal, ukuran langkah berkurang tingkat, dan ukuran langkah meningkatkan tingkat. Karena tidak ada metoda yang tepat di dalam literatur untuk menemukan jumlah maksimum parameter-parameter suatu prosedur mencoba-coba ini digunakan. Di dalam semua pelatihan, mereka diambil sebagai 50 Epochs sama nilai asumsi tetap seperti yang ada di MATLAB.

Tool Box MATLAB fuzzy logik digunakan untuk mendisain struktur penaksir ANFIS. Menggunakan data pelatihan yang di-set, toolbox membangun satu struktur ANFIS yang menggunakan suatu algoritma *backpropagation*, atau di kombinasi dengan jenis paling sedikit bujur sangkar dari metode (*algoritma bastar*). Model ANFIS dapat dihasilkan dari baris perintah yang manapun, atau sampai editor ANFIS GUI. Di dalam studi ini, ANFIS Editor GUI digunakan untuk menghasilkan ANFIS model dengan parameter-parameter desain yang dipilih di dalam tahap konstruksi.

Langkah-langkah mendesain penaksir ANFIS di dalam toolbox MATLAB logik fuzzy adalah sebagai berikut:

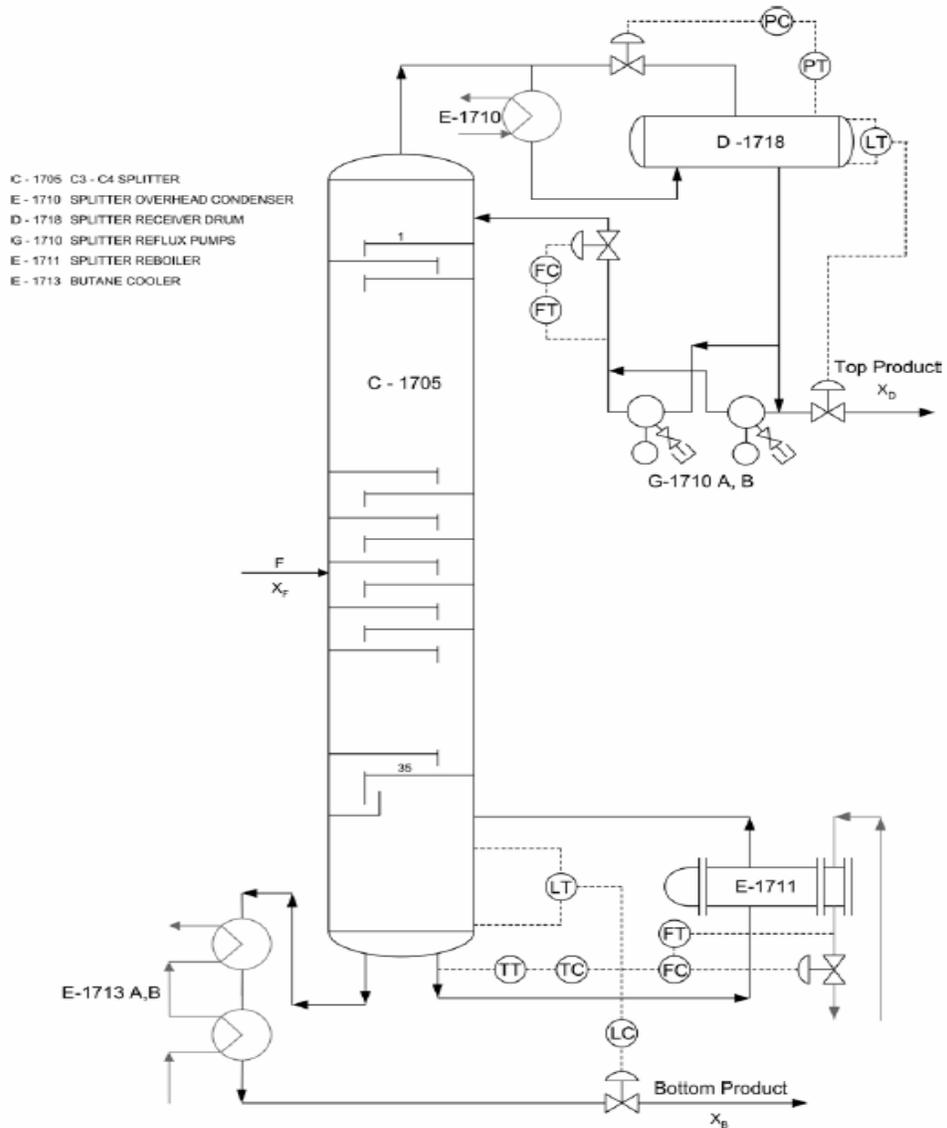
1. Data pelatihan yang sudah dihasilkan dimasukan pada Editor GUI
2. Parameter-parameter desain, nilai dari input MF, jenis dari masukan dan outputnya MF kita memilih. Dengan demikian, struktur ANFIS terbentuk
3. Kode untuk pelatihan itu adalah sesuai dengan struktur yang pertama.
4. Struktur ANFIS ditentukan setelah pelatihan yang kerjakan untuk digunakan sebagai satu penaksir

2.23 Penyulingan Kolom yang Berkelanjutan

Penyulingan kolom yang berkelanjutan atau penyulingan yang kontinu adalah penyulingan yang dilakukan dengan cara terus menerus sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan (Geankoplis: 263). Penyulingan ini banyak sekali alatnya, salah satu alatnya yang digunakan pada pembahasan ini.

Penyulingan Kolom yang berkelanjutan digunakan di dalam studi ini adalah C3-C4 Splitter kolom. Kolom ini ada di dalam *Kirikkaleinstalasi* penyulingan, di Turkey. Gambar 2.16 menunjukkan sket dari kolom. Suatu campuran dari i-butena, n-butane, dan i-pentane merupakan kolom dari baki ke 22 dan propane dan n-butane komposisi bagian bawah dan bagian atas dan sebaliknya. Kemurnian komposisi produk bagian atas dikendalikan dengan manipulasi laju aliran pengaliran kembali. Kemurnian hasil dari bagian bawah dikendalikan dengan mengukur temperatur dari alas dan menggerakkan laju aliran uap air kepada pesawat penguapan ulang. Kesempurnaan cairan di dalam baki bagian alas dari kolom dan drum penerima dikendalikan dengan menyesuaikan laju aliran hasil

penyulingan baki bagian alas dan cairan. Tekanan di dalam kolom itu dikendalikan dengan manipulasi laju aliran uap air yang bagian baki bagian atas drum penerima. Parameter-parameter desain dan data operasi dari kolom itu disampaikan dalam Table 2.1.



Gambar 2.16 C3-C4 Splitter kolom (Dokucu 2002)

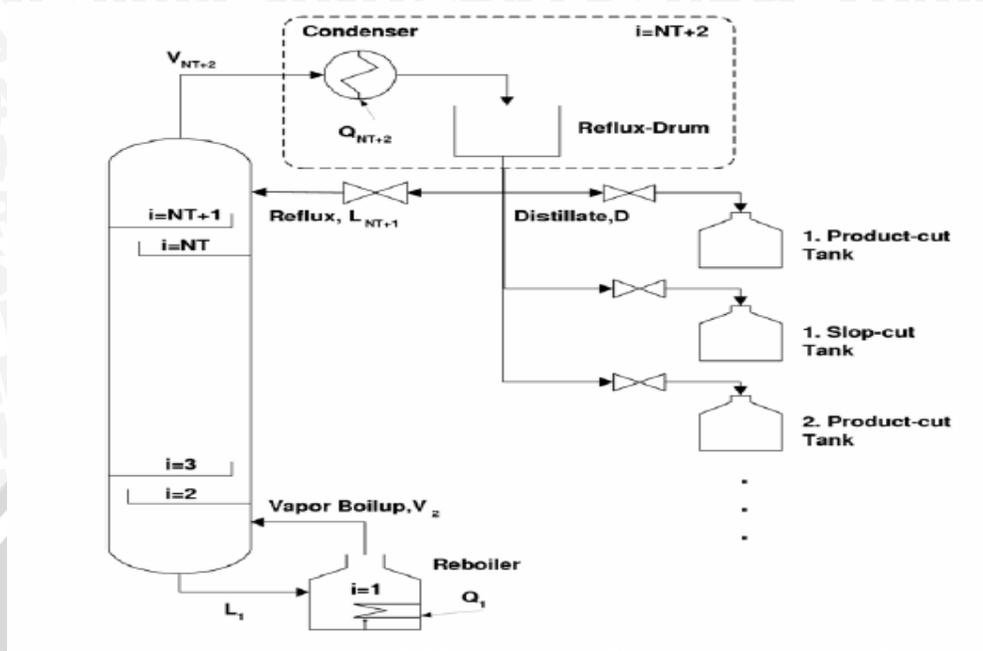
Tabel 2.1 Plant Data (Dokucu 2002)

kolom spesifikasi	
nomor baki	35
kolom di dalam diameter	1000 mm
pengaturan jarak baki	600 mm
panjangnya bendungan	880 mm
tingginya bendungan	50 mm
kapasitas maksimum (% dari desain nominal)	110 %
kapasitas minimum (% dari desain nominal)	50 %
kondisi pemakanan	
tingkat pemakanan	118.53 kmol/hr
tekanan pemakanan	18.04 bar
temperatur pemakanan	84 °C
komposisi pemakanan (fraksi mol)	
propana	0.3933
i-butana	0.2384
n-butana	0.3678
i-pentana	0.0005
nilai-nilai operasional (desain)	
tekanan maksimum menetes jatuh selama proses	5 mm Hg
tekanan baki atas	16.18 bar
tekanan baki bawah	16.67 bar
temperatur baki atas	48° C
Temperatur baki bawah	98°C
tingkat pengaliran kembali	161.51 kmol/hr
tingkat distillate	32.76 kmol/hr
tingkat alas	85.77 kmol/hr
tugas pesawat penguapan ulang	1930 MV

2.24 Penyulingan Kolom Batch

Penyulingan kolom *Batch* adalah penyulingan yang dilakukan setahap demi setahap atau penyulingan yang membutuhkan proses data bertahap (Geankoplis: 267). Penyulingan kolom *batch* ini banyak sekali modelnya dan salah satu diantaranya yang digunakan pada pembahasan ini.

Kolom penyulingan *batch* yang ditirukan oleh Mujtaba et. al. (1993) digunakan di dalam studi yang kedua. Gambar 2.12 menggambarkan sket dari kolom *batch*. Kolom ini memisahkan suatu campuran dari *sikloheksana*, *n-heptan* dan *toluena*. Parameter-parameter desain untuk kolom ini pada Tabel 2.2. Kolom ini di bawah kendali yang sempurna dari drum pengaliran kembali mengukur dan mengalir kembali perbandingan (R) menggunakan sebagai variabel yang dimanipulasi untuk menyadari kebijakan operasi yang optimal yang direkomendasikan (Mujtaba:1993). Di dalam kebijakan ini, suatu alihan waktu antara R dan jalan-pintas dioptimalkan menurut meminimalkan faktor kapasitas. Tabel 2.3 menunjukkan parameter-parameter dari profil kebijakan pengaliran kembali yang optimal (Mujtaba: 1993).



Gambar 2.17 Penyulingan Batch Kolom (Yildiz 2003)

Tabel 2.2 Parameter desain untuk penyulingan kolom batch (Yildiz2003)

nomor baki	8
consender-reflux-drum pengambilan	0.02 kmol
Pengambilan baki	0.01 kmol
tingkat mendidih maksimum	2.75 kmol/h

Table. 2.3 Parameter perbandingan dari pengaliran kembali(Yildiz2003)

Jumlah dari pemakanan yang segar	2.93 kmol
komposisi pemakanan	
sikloheksana	0.407
n heptan	0.394
toluene	0.199
kemurnian yang diinginkan komposisi 1 produk	0.9
potong 1	
kemurnian yang diinginkan komposisi 2 produk	0.8
potong 2	
profil jumlah maksimum pengaliran kembali	
interval waktu	perbandingan pengaliran kembali
0-2.04	0.875
2.04-3.4	0.911
3.4-6.17	0.933
6.17-6.51	0.831
6.51-8.35	0.876

2.25 Kajian Keagamaan

Pada surta Ash-Shaffa ayat 147 tersubut dijelaskan bahwa Nabi Yunus diutus kepada umatnya yang jumlahnya 100.000 orang atau lebih. Jika membaca ayat tersebut secara seksama, ada rasa (kesan) bahwa terdapat keraguan dalam menentukan jumlah umat Nabi Yunus. Mengapa harus menyatakan 100.000 atau lebih? Mengapa tidak menyatakan dengan jumlah yang sebenarnya? Bukankan Allah maha mengetahui yang gaib dan yang nyata? Bukankan Allah SWT maha mengetahui segala sesuatu, termasuk jumlah umat Nabi Yunus? Jawaban terhadap pertanyaan tersebut adalah "inilah estimasi (taksiran)"(Abdusakir:91).

Kalau kita melihat dari tafsirnya 100.000 maksudnya adalah menunjukkan jumlah penduduk pada kota Niniveh yang merupakan kota besar sekali. Perjanjian lama mengatakan: "Niniveh adalah sebuah kota yang mengagumkan besarnya, tiga hari perjalanan luasnya"(yunus iii 3); berpenduduk lebih dari seratus dua puluh ribu orang". Dengan kata lain luar sekitarnya kira-kira 45 mil dan berpenduduk lebih dari seratus dua puluh ribu orang (Yusuf:102).

Masalah estimasi atau pendugaan atau perkiraan ini juga dijelaskan dalam hadis Nabi Muhammada SAW yang diriwayatkan dari Ibn Umar r.a. sebagai berikut:

أَرَى رُؤْيَاكُمْ قَدْ تَوَاطَّاتْ فِي السَّبْعِ الْأَوَاخِرِ فَمَنْ كَانَ مُتَحَرِّبًا فَلْيَتَحَرَّهَا
فِي السَّبْعِ الْأَوَاخِرِ

Artinya.

"Aku berpendapat bahwa mimpi kalian itu bertepatan pada tujuh malam terakhir bulan Ramadhan. Dan siapapun yang ingin mencari malam Qadar, carilah pada tujuh malam terakhir bulan Ramadhan". (ringkasan Shahih Al Bukhari: 614).

Hadis yang lain juga diterangkan yang diriwayatkan oleh Ibn Abbas r.a. sesungguhnya Nabi SAW. bersabda:

الْتَمِسُوهَا فِي الْعَشْرِ الْأَوَاخِرِ مِنْ رَمَضَانَ لَيْلَةَ الْقَدْرِ فِي تَاسِعَةٍ تَبْقَى فِي
سَابِعَةٍ تَبْقَى فِي خَامِسَةٍ تَبْقَى

Artinya

"Carilah Lailatul Qadar itu pada malam sepuluh terakhir bulan Ramadhan, yaitu pada malam dua puluh satu, dua puluh tiga, atau dua puluh lima". (ringkasan shahih Al Bukhari: 615).

Hadist ini menceritakan bahwa malam Lailatul Qadar itu tidak menentu terjadinya, kadang-kadang pada malam dua puluh satu, atau dua puluh tiga, atau dua puluh lima. Dan banyak hadis menyatakan bahwa Lailatul Qadar antara tanggal dua puluh satu sampai tanggal dua puluh sembilan.

Jadi, kalau kita memperhatikan hadis Nabi ini, bahwa Nabi Muhammad SAW juga mengajarkan kepada kita untuk melakukan pendugaan atau estimasi atau ramalan. Hadist tersebut menjelaskan malam Lailatul Qadar itu terjai pada malam sepuluh terakhir bulan Ramadhan, yaitu pada malam dua puluh satu, dua puluh tiga, atau dua puluh lima. Kata sepuluh terakhir bulan Ramadhan ini adalah kata yang tidak menentu atau kata mengira-ngira atau menduga atau menaksir bahwa Lailatul Qadar itu terdapat pada malam dua puluh satu, atau dua puluh tiga, atau dua puluh lima dan banyak hadist lain yang menyatakan sampai dua puluh sembilan tiap malam yang ganjil. Jadi, kata "atau" dalam dua puluh satu, dua puluh tiga, dua puluh lima adalah kata yang menunjukkan harus memilih salah satu dari kata tersebut.

Para ahli pendidikan Matematika menyatakan bahwa pembelajaran estimasi merupakan fenomena yang relatif baru. Kurikulum matematika tidak memberikan perhatian yang serius pada pembelajaran estimasi atau pendugaan. Estimasi menjadi suatu keterampilan yang terabaikan dalam matematika.

Baru pada tahun 1980-an, perhatian terhadap pembelajaran estimasi dilakukan secara serius di Amerika. Penelitian mengenai keterampilan mengenai estimasi atau pendugaan mulai banyak dilakukan. Walle (1990:163) menyatakan bahwa pembelajaran keterampilan estimasi menjadi sangat penting bagi siswa. Selain itu, Walle (1990:163) menyatakan bahwa dalam kehidupan sehari-hari,

ketrampilan estimasi sangat dibutuhkan dan menghemat waktu dalam penghitungan.

Pada tahun 1989, Lembaga Nasional Guru Matematika di Amerika memasukan estimasi sebagai suatu standar terpilih untuk kelas 4 SD dalam pedoman Standar Evaluasi dan Kurikulum. Pada tahun 2000, dalam *Principles and Standards School Mathematics tahun 2000*, NCTM memasukkan keterampilan estimasi sebagai sesuatu standar yang perlu dicapai mulai tingkat prasekolah (TK) sampai sekolah dasar (NCTM, 2000). Standar estimasi dimasukan pada komponen *Number and Operation* (Bilangan dan Operasi Bilangan). Baru pada tahun 2000-an pembelajaran estimasi mulai diperhatikan di Indonesia dengan memasukan materi estimasi di kelas 4 sekolah dasar. Suatu fenomena yang sangat unik, karena Al-Qur'an telah memberikan contoh estimasi sejak sekitar 1400 tahun yang lalu, yaitu sesuai dengan surat Ash-Shaffa ayat 147.

Dengan demikian, penulis menangkap dari firman Allah SWT dan hadist Nabi Muhammad SAW mengajarkan suatu ilmu kepada kita umat manusia yang berkaitan dengan matematika yang kita kenal dengan estimasi atau pendugaan. Jadi, pembasan mengenai masalah estimasi ini perlu dipelajari dan aplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, sehingga penulis mengangkatnya dalam penulisan skripsi ini dengan pembahasan melakukan estimasi atau pendugaan dengan menggunakan sturktur ANFIS dalam proses penyulingan kolom yang berkelanjutan dan penyulingan kolom *batch*.

BAB III PEMBAHASAN

Di dalam bab ini, akan diberikan suatu simulasi dan dibahas secara detil masalah menstruksi struktur ANFIS dalam proses kimia khususnya pada permasalahan Estimator/pendugaan pada penyulingan kolom yang berkelanjutan dan kolom *batch*. Untuk menaksir komposisi-komposisi dari beberapa baki, maka diperlukan/dibangun suatu struktur ANFIS. Struktur ANFIS ini, dibangun untuk menaksir penyulingan kolom yang berkelanjutan dan kolom *batch*. Serta akan ditunjukkan desain dan implementasi-implementasi dari penaksiran struktur ANFIS itu sendiri.

3.1 Penilaian Penyulingan di dalam Kolom yang Berkelanjutan

Penilaian dalam penyulingan pada kolom yang berkelanjutan dimaksudkan untuk menaksir dua paralel ANFIS yaitu pada bagian atas (*propena*) sejenis metan dan bawah (*butena*) sejenis gas hidrokarbon dari hasil komposisi-komposisi pada temperatur baki. Pemetaan statis dari komposisi-komposisi pada temperatur baki dicapai dengan menaksir dari struktur ANFIS. Hal ini dilaksanakan dalam empat tahap. Di dalam tahap yang *pertama*, akan dipilih input sebagai estimator. Lalu di dalam tahap yang *kedua*, data mengidentifikasi data pelatihan. Struktur-struktur penaksir dilatih di dalam tahap yang *ketiga*. Dan, di dalam tahap yang terakhir, simulasi-simulasi dilaksanakan untuk memperoleh hasil sebagai evaluasi kinerja.

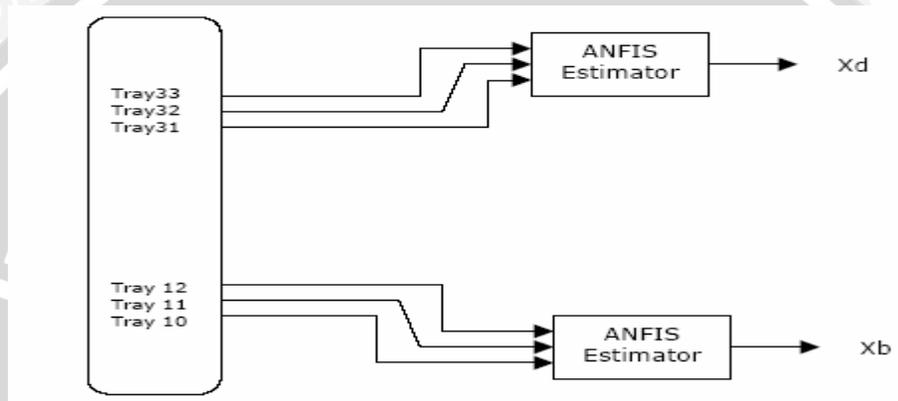
3.1.1 Pemilihan Input Sebagai Estimator

Di dalam estimator/menaksir, ketelitian suatu penilaian dapat dipengaruhi secara langsung oleh suatu input. Kinerja penaksir juga sangat tergantung pada banyaknya input. Oleh karena itu, pemilihan suatu input harus benar-banar diperhatikan di dalam proses desain penaksir ANFIS ini.

Seperti yang telah dirancang oleh Bahar (2003) tentang penaksir *NN* untuk penyulingan kolom yang berkelanjutan yang terkait dengan menaksir komposisi bagian atas yaitu sejenis metan dan alas yaitu sejenis gas hidrokarbon dari temperatur-temperatur. Dia menerapkan suatu teknik *Singular Value Decomposition (SVD)* untuk memilih lokasi-lokasi sensor. Menurut metode *SVD*, misalnya untuk sistim komponen *NC*, pengukuran temperatur *NC-1* diperlukan untuk menilai komposisi. Karenanya, tiga baki dari kepala dan tiga dari alas dirancang untuk menaksir komposisi-komposisi itu. Adapun nilainya pada baki-baki tersebut dari bagian atas ke 31, 32, dan 33, dan baki-baki dari alas ke 10, 11 dan 12.

Di dalam studi ini, diarahkan hanya untuk menaksir komposisi-komposisi dari pengukuran temperatur. Bagaimanapun, karena struktur ANFIS mempunyai satu keluaran, maka hanya salah satu hasil dari komposisi-komposisi dapat diperkirakan dengan nilai temperatur tersebut. Untuk itu, dalam menilai komposisi dari struktur ANFIS ini, tidak sama dengan yang dirancang oleh Bahar yang menggunakan *NN* sebagai penaksirnya. Hal ini juga, ketika banyaknya pengukuran-pengukuran pada saat dimasukkan dari suatu sistem, maka kompleksitas struktur tersebut akan mempengaruhi pemusatan dari masalah. Oleh karena itu, permasalahan ini diputuskan untuk menggunakan tiga pengukuran baki

untuk memproses penilaian seperti yang diusulkan oleh *SVD*. Jadi, dengan mengacu pada *pembelajaran hybrid* yang melihat baki-baki untuk menaksir hasil bagian atas (*sejenis metan*) dari komposisi baki ke 31, 32, dan 33 dan baki-baki bagian alas (*sejenis gas hidrokarbon*) pada komposisi ke 10, 11, dan 12 di dalam kolom yang berkelanjutan. Rencana penilaian untuk kolom penyulingan yang berkelanjutan ini ditunjukkan di dalam Gambar 4.1.



Gambar 3.1 Rencana Estimation untuk penyulingan kolom yang berkelanjutan

3.1.2 Mengidentifikasi Data Pelatihan

Jika operasi data input-output ada di luar cakupan dari data pelatihan ini, maka penaksiran tidak akan beroperasi dengan teliti. Sebagai hasilnya, data pelatihan dirancang tersebut harus menguasai cakupan operasional termasuk nilai maksimum dan minimum untuk dari variabel-variabel input-output. Data yang dirancang tersebut termasuk data untuk masing-masing memproses variabel, data tersebut dibagi-bagikan sepanjang cakupan di mana penilaian yang diinginkan.

Nilai maksimum dan nilai minimum dari tingkat pengaliran kembali di dalam kolom itu ditentukan oleh Bahar (2003) dengan memperhatikan tanggapan-tanggapan dari percobaan tertutup tanpa penaksir yang diperoleh dari Dokucu

(2002). Hal ini urutan data dari tingkat pengaliran kembali dengan prosentase minimum 5 % dan maksimum 13 %. Perubahan prosentase dan hasil data input-output dari masing-masing variabel yang digunakan untuk mengidentifikasi data pelatihan ditunjukkan di table 3.1 dan table 4.2. Dengan demikian, simulasi-simulasi model dilaksanakan untuk memperoleh hasil dengan skor error yang paling kecil untuk diterapkan dalam kehidupan nyata digunakan dengan nilai-nilai input dan output ini.

Table 3.1. Data input dan output pada baki di komposisi bagian atas

Input pada Baki ke-33	Input pada Baki ke-32	Input pada Baki ke-31	Output pada Presentase
320	320	320	0.734 5 %
330	330	330	0.762 7 %
340	340	340	0.791 9 %
350	350	350	0.879 11 %
360	360	360	0.932 13 %

(Sumber: Guner. 2003:129)

Table 3.2. Data input dan output pada baki di komposisi bagian bawah

Input pada Baki ke-10	Input pada Baki ke-11	Input pada Baki ke-12	Output pada Presentase
345	345	345	0.5259 5 %
350	350	350	0.5313 7 %
355	355	355	0.5751 9 %
360	360	360	0.5974 11 %
365	365	365	0.6495 13 %

(Sumber: Guner. 2003:129)

3.1.3 Pelatihan dari Struktu Penduga ANFIS

Mendesain suatu struktur ANFIS sebagai penaksir direalisasikan seperti yang dijelaskan di dalam bab yang sebelumnya menggunakan software MATLAB. Pertama-tama, data pelatihan yang dihasilkan terisi dengan GUI Editor. Sebagai langkah awal, kita pilih parameter-parameter desain untuk membangun suatu

struktur ANFIS. Sebagai contoh, jika tiga MFs yang bersegi tiga digunakan untuk masing-masing input maka output tetap MF, GUI Editor menentukan parameter-parameter yang pertama dari bentuk segitiga MFs dan secara otomatis segitiga MFs memproses data yang terisi, serta GUI Editor membangun fungsi keanggotaan fuzzy bagian segitiga dengan jumlah aturan input ada 3 dan output konstanta sebagai struktur ANFIS. Pelatihan-pelatihan struktur-struktur itu dilaksanakan dengan menjalankan program yang ada di tool Box MATLAB. Semua struktur dilatih demikian juga dengan mengubah data pelatihan. Di dalam perancangan penaksir hasil bagian atas, data pelatihan menetapkan yang disesuaikan dengan temperatur-temperatur dari baki-baki ke 31, 32, dan 33 sebagai komposisi hasil bagian atas nyata. Di dalam desain penaksir hasil bagian bawah, data yang ditetapkan adalah temperatur-temperatur pada baki ke 10, 11, dan 12 sebagai komposisi hasil bagian bawah nyata.

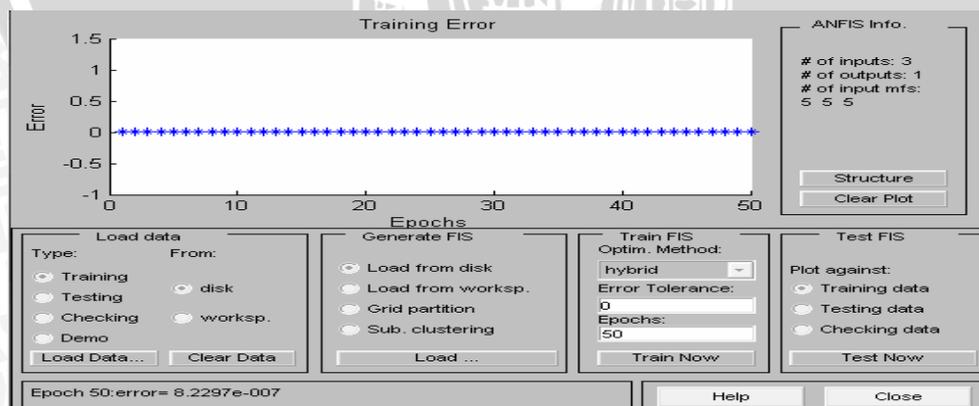
3.1.4 Hasil Simulations

Setelah pelatihan dari struktur-struktur ANFIS, kinerja-kinerja dari penaksir-penaksir struktur ANFIS tersebut bisa kita bandingkan mana skor error yang paling kecil. Test ini dibuat dengan memanfaatkan dari struktur-struktur penaksir yang berbeda. Di dalam semua simulasi, skor error menentukan antara komposisi-komposisi yang nyata dengan hasil percobaan sebagai ukuran-ukuran kinerja. Hasil dari Simulasi disampaikan dalam tabel 4.2.

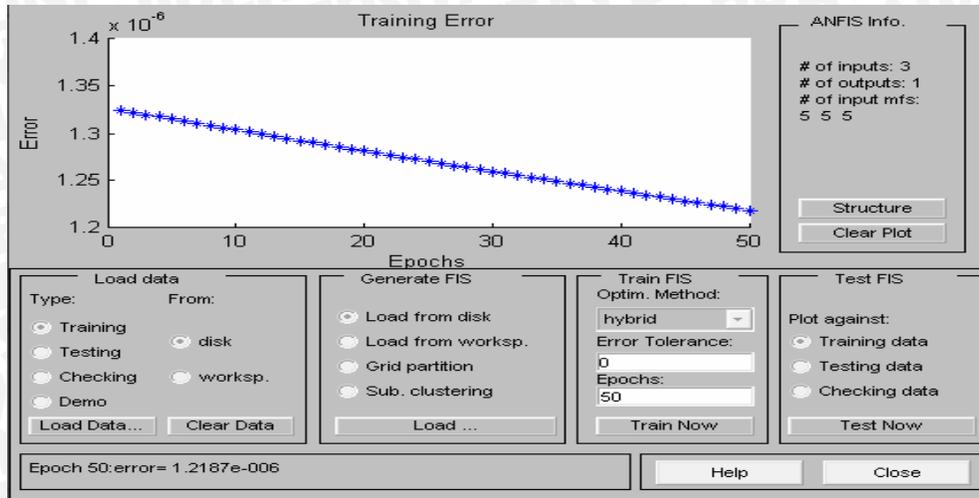
Tabel 3.3 Hasi simulasi dari struktur ANFIS pada baki bagian atas dan bagian bawah.

Input MFs	Input MF	Output MF	Skor Error Baki Bagian Atas	Skor Error Baki Bagian Bawah
Segitiga	3	konstantan	0.0000041948	0.0000028423
Segitiga	3	Linier	0.000013236	0.0000054752
Segitiga	5	Konstantan	0.00000082297 *	0.00000057764 *
Segitiga	5	Linier	0.000022605	0.000023049
Segitiga	7	Konstantan	0.0000042105	0.000002896
Segitiga	7	Linier	0.00001588	0.000017994
Gauss	3	Konstantan	0.0000043597	0.0000029097
Gauss	3	Linier	0.000010842	0.00001379
Gauss	5	Konstantan	0.0000012187**	0.00000085636 **
Gauss	5	Linier	0.000081572	0.000082083
Gauss	7	Konstantan	0.0000042543	0.0000025318
Gauss	7	Linier	0.00005205	0.000079392

Seperti dapat dilihat dari skor error pada Tabel 3.2 bahwa semua struktur sudah diketahui. Dari tabel 3.2 untuk baki komposisi bagian atas skor yang paling kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan. Dan diikuti fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Gauss dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan juga. Gambar yang terkait dengan hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.

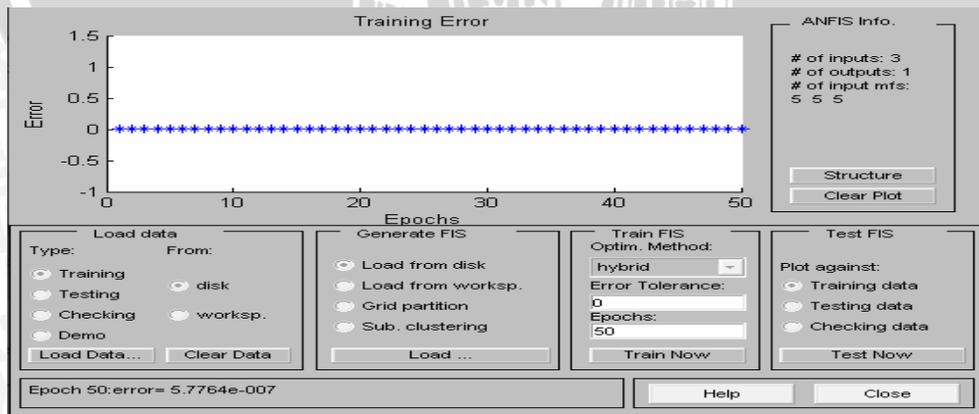


Gambar 3.2. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantanan dengan skor error 0.00000082297 untuk Baki bagian atas.

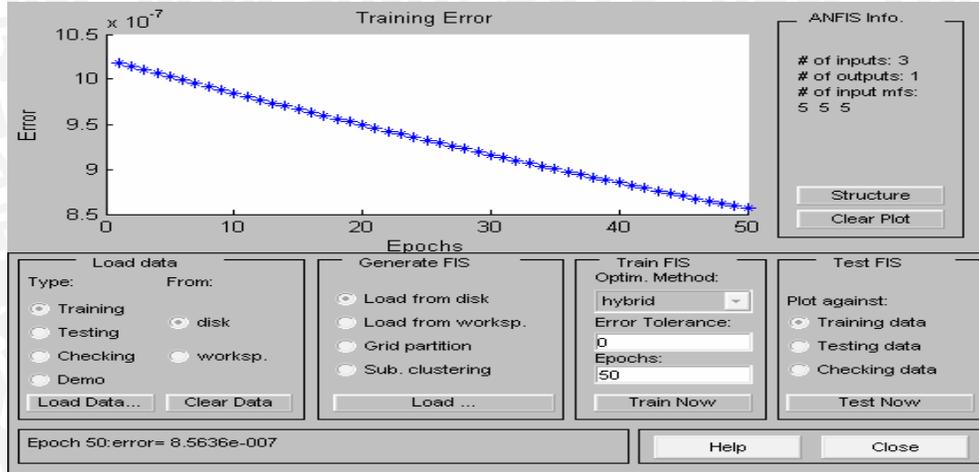


Gambar 3.3. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Gauss dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor error 0.0000012187 untuk Baki bagian atas.

Dari tabel 3.2 untuk baki komposisi bagian bawah skor error yang paling kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan. Dan diikuti fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Gauss dengan jumlah atauran input MF ada 5 dan output konstantan juga. Gambar yang terkait dengan hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 3.4. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor error 0.00000057764 untuk Baki bagian bawah.



Gambar 3.5. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Gauss dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor error 0.00000085636 untuk Baki bagian bawah.

Dengan demikian, struktur ANFIS dengan fungsi keanggotaan fuzzy input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan dapat dipilih sebagai arsitektur penaksir untuk komposisi produk atas (*propena*) sejenis metan maupun bagian bawah (*butena*) sejenis gas hidrokarbon. Hasil ini dapat diterapkan kepada kehidupan nyata. Oleh karena itu, untuk gambar hasil simulasi yang lain dari kinerja-kinerja struktur ANFIS dapat dilihat dalam lampiran A.1.

3.2 Penilaian di Dalam Kolom Penyulingan Batch

Pada pembahasan ini, akan diarahkan untuk menyelidiki kinerja-kinerja struktur ANFIS di dalam kolom penyulingan *batch*. Untuk tujuan ini, tiga paralel penaksir-penaksir struktur ANFIS dikembangkan untuk meramalkan komposisi-komposisi drum pengaliran kembali yaitu *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2) dan *toluena* (C3). Permasalahan ini menerapkan prosedur yang sama seperti yang diterapkan di dalam kasus dari penyulingan kolom yang berkelanjutan.

3.2.1 Pemilihan Input sebagai Penaksir

Di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan, pembahasan tersebut menggunakan metode *SVD* dengan tiga baki sebagai Input untuk menaksir temperatur. Jika metode *SVD* (NC-1) diterapkan di dalam kolom penyulingan *batch*, maka kita harus membagi dari tiga komponen baki tersebut. Karena tiga komponen tersebut dipisah, dua baki sebagai pengukuran temperatur harus dipilih selanjutnya digunakan untuk penilaian di dalam kolom penyulingan *batch*.

Di dalam studi kasus dari penyulingan dengan kolom yang berkelanjutan, nomor dari baki-baki tersebut bisa diukur jika temperatur diatas 37. Bagaimanapun, kolom penyulingan *batch* dalam pembahasan ini mempunyai 8 baki. Di samping itu, proses penyulingan *batch* juga mempunyai karakteristik-karakteristik yang kompleks dibanding penyulingan dengan kolom yang berkelanjutan. Oleh karena itu untuk mencerminkan kolom yang dinamis dan baik, maka sebagai ganti dua baki, tiga baki digunakan di dalam kolom penyulingan *batch* tanpa analisa *SVD*. Dengan demikian, kita pilih baki ke-2, ke-5, dan ke-9 unuk digunakan dalam pembahasan ini. Baki-baki itu digunakan satu dari kolom alas, satu dari kolom dibagian tengah dan satu dari kolom bagian atas. Baki-baki yang dipilih ini digunakan untuk penilaian komposisi.

3.2.2 Mengidentifikasi data pelatihan

Seperti yang dinyatakan di dalam pembahasan sebelumnya, kolom itu dikerjakan dari perbandingan pengaliran kembali secara optimal di bawah kebijakan dari Mujtaba (1993). Kebijakan perbandingan pengaliran kembali secara optimal dan mendesain kolom sebagai parameter dengan nilai prosentase

minimum 5 % dan maksimum 13 %. Model yang ketat untuk kolom yang dikembangkan oleh Yildiz (2003) digunakan sebagai parameter-parameter kolom ini. Data yang digunakan dalam simulasi-simulasi disampaikan dalam Tabel 4.4. C1, C2 dan C3 berturut-turut adalah komposisi-komposisi dari *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2) dan *toluena* (C3). Setelah mengumpulkan data input-output, maka kita melakukan simulasi dengan menjalankan program ANFIS di MATLAB.

Tabel 3.4 Data input dan output pada baki dengan komposisi *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2) dan *toluena* (C3).

Input pada Baki ke-2	Input pada Baki ke-5	Input pada Baki ke-9	Output dan Persentase			
			C1	C2	C3	%
360	360	360	0.015	0.017	0.00149	5 %
365	365	365	0.095	0.105	0.09596	7 %
370	370	370	0.384	0.454	0.32845	9 %
375	375	375	0.734	0.894	0.35491	11 %
380	380	380	0.981	0.981	0.77358	13 %

(Sumber: Guner, 2003:129)

3.2.3 Pelatihan dari Struktur Penduga ANFIS

Sebelum kita melakukan pelatihan data, kita perlu mendesain suatu struktur ANFIS. Mendesain suatu struktur ANFIS pada penyulingan kolom *batch* sebagai penaksir sama dengan mendesain dari struktur penaksir dipenyulingan dikolom yang berkelanjutan yang menggunakan software MATLAB. Pertama-tama, data pelatihan yang dihasilkan terisi dengan GUI Editor. Sebagai langkah awal, kita pilih parameter-parameter desain untuk membangun suatu struktur ANFIS. Sebagai contoh, jika tiga MFs yang bersegi tiga digunakan untuk masing-masing input maka output tetap MF, GUI Editor menentukan parameter-parameter yang pertama dari bentuk segitiga MFs dan secara otomatis segitiga MFs memproses

data yang terisi, serta GUI Editor membangun fungsi keanggotaan fuzzy dengan jumlah aturan 3 dan outputnya konstantan sebagai struktur ANFIS. Pelatihan-pelatihan struktur-struktur itu dilaksanakan dengan menjalankan program yang ada di Tool Box MATLAB.

3.2.4 Hasil Simulasi

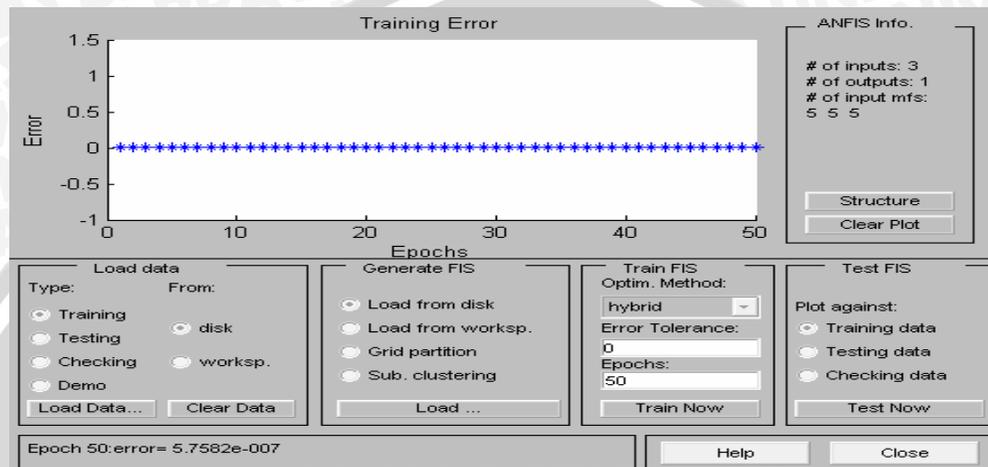
Setelah pelatihan dari struktur-struktur ANFIS, kinerja-kinerja dari penaksir-penaksir struktur ANFIS tersebut bisa kita bandingkan dengan skor error yang paling kecil. Test ini dibuat dengan memanfaatkan dari struktur-struktur penaksir yang berbeda. Di dalam semua simulasi, skor error menentukan antara komposisi-komposisi yang nyata dengan hasil percobaan sebagai ukuran-ukuran kinerja. Hasil dari Simulasi disampaikan dalam table 3.5.

Tabel 3.5 Hasi simulasi dari struktur ANFIS pada baki dengan komposisi sikloheksana (C1), *n*-heptan (C2) dan toluena (C3).

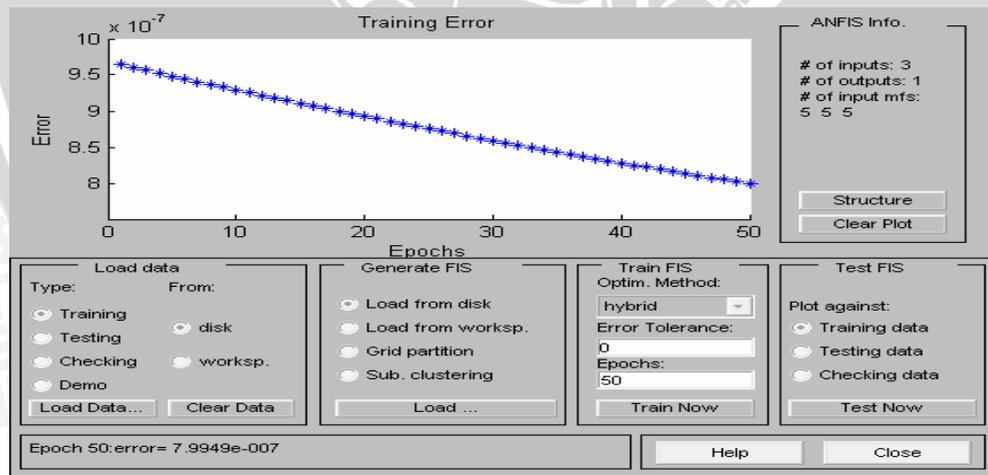
Input MFs	Input MF	Output MF	Skor Error C1	Skor Error C2	Skor Error C2
Segitiga	3	konstantan	0.0000026496	0.0000019473	0.0000018996
Segitiga	3	Linier	0.000095224	0.0000033954	0.0000063623
Segitiga	5	Konstantan	0.00000057582*	0.00000062914*	0.00000044758*
Segitiga	5	Linier	0.000021575	0.00003087	0.000022086
Segitiga	7	Konstantan	0.0000024637	0.000002962	0.0000019419
Segitiga	7	Linier	0.000021402	0.000017508	0.0000099663
Gauss	3	Konstantan	0.00001127	0.0000033895	0.0000018338
Gauss	3	Linier	0.0000026483	0.000021851	0.000002507
Gauss	5	Konstantan	0.00000079949**	0.00000089312**	0.0000006203**
Gauss	5	Linier	0.000020651	0.00010076	0.000060469
Gauss	7	Konstantan	0.000024337	0.0000029267	0.0000018951
Gauss	7	Linier	0.000060326	0.000013479	0.000063934

Seperti dapat dilihat dari skor error di Tabel 3.4 bahwa semua struktur sudah diketahui. Dari tabel 4.4 untuk baki komposisi C1 skor yang paling kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah

aturan input MF ada 5 dan output konstantan. Dan diikuti fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Gauss dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan juga. Gambar yang terkait dengan hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.

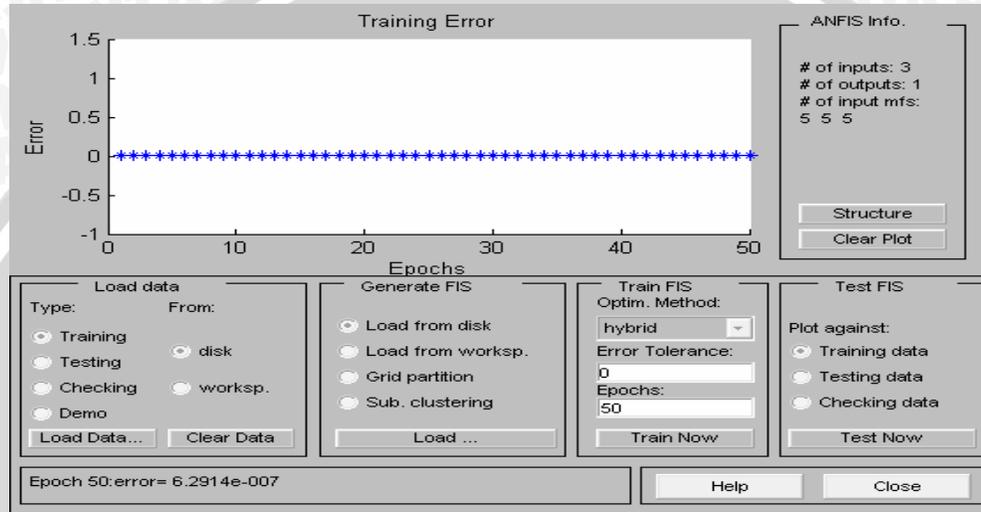


Gambar 3.6. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor error 0.00000075582 untuk C1.

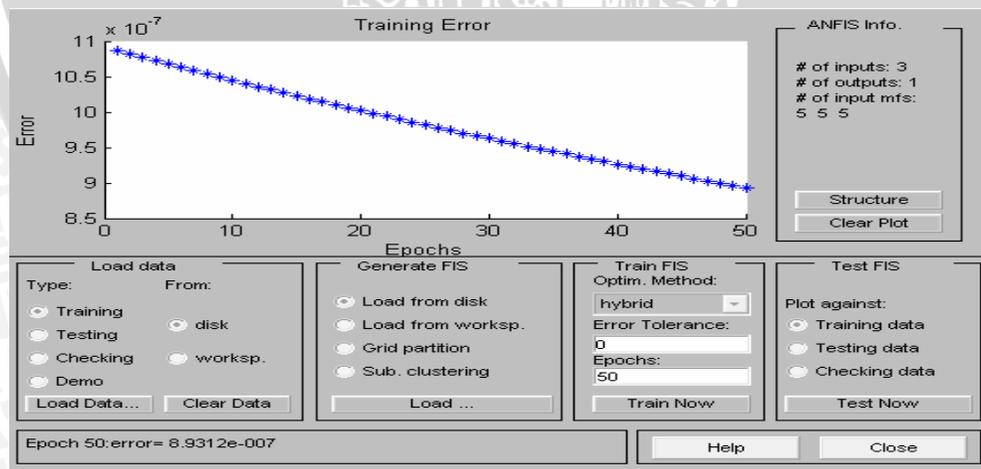


Gambar 3.7. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Gauss dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor error 0.00000079949 untuk C1.

Dari tabel 3.4 untuk baki komposisi C2 skor yang paling kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan. Dan diikuti fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Gauss dengan jumlah atauran input MF ada 5 dan output konstantan juga. Gambar yang terkait dengan hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.

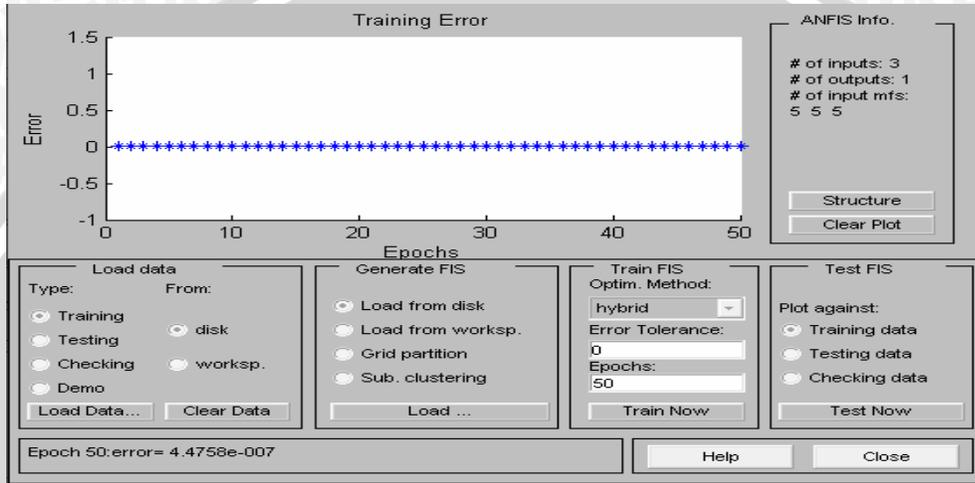


Gambar 3.8. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.00000062914 untuk C2.

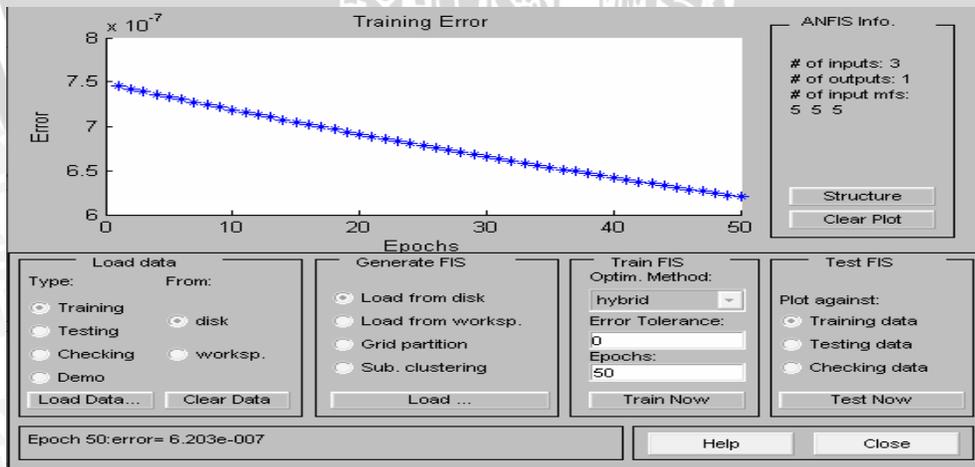


Gambar 3.9. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Gauss dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.00000089312 untuk C2.

Dari tabel 3.4 untuk baki komposisi C1 skor yang paling kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan. Dan diikuti fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Gauss dengan jumlah atauran input MF ada 5 dan output konstantan juga. Gambar yang terkait dengan hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.



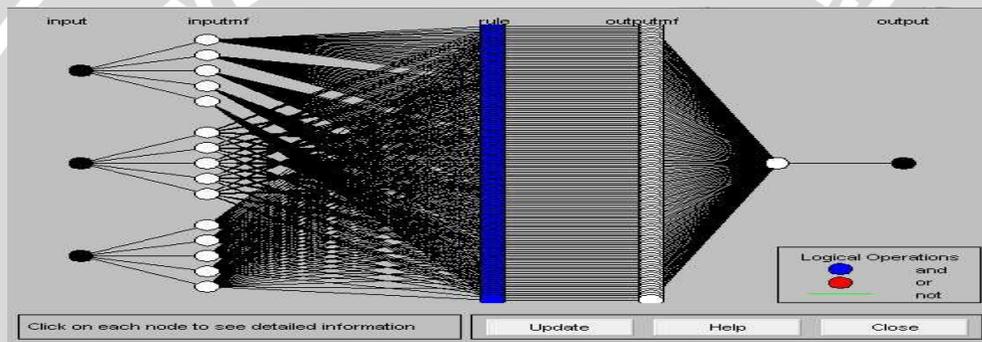
Gambar 3.10. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.00000044758 untuk C3.



Gambar 3.11. Hasil simulasi fungsi keanggotaan fuzzy bagian Gauss dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.0000006203 untuk C3.

Dengan demikian, struktur ANFIS dengan fungsi keanggotaan fuzzy input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan dapat dipilih sebagai arsitektur penaksir untuk komposisi *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2) maupun *toluena* (C3). Hasil ini dapat diterapkan kepada kehidupan nyata. Oleh karena itu, untuk gambar hasil simulasi yang lain dari kinerja-kinerja struktur ANFIS dapat dilihat dalam lampiran B.1.

Dibawah ini adalah gambar Struktur ANFIS dengan jumlah input ada 3, jumlah aturan ada 125, dan jumlah output ada satu.



Gambar 3.12. Struktur ANFIS dengan jumlah aturan input MF ada 5.

Jadi dari hasil simulasi baik untuk baki komposisi bagian atas dan bawah maupun *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2), dan *toluena* (C3), maka struktur ANFIS dengan fungsi keanggotaan fuzzy input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan dapat dipilih sebagai Estimator dan bisa diterapkan dalam kehidupan riil.

BAB IV PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tentang aplikasi *Adaptif Neuro Fuzzy Inferens System* (ANFIS) dalam proses penyulingan kolom yang berkelanjutan dan kolom *batch* dengan permasalahan sebagai berikut:

1. Prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen dikomposisi baki bagian atas *propena* dan bagian alas *butena* di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan.

Untuk menstruksi ANFIS dari komponen-komponen dikomposisi baki bagian atas (*propena*) dan bagian alas (*butena*) di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan dapat disimpulkan bahwa hal tersebut dilaksanakan dalam empat tahap sebagai berikut:

Di dalam tahap yang *pertama*, pada tahap yang pertama ini kita pilih input sebagai penduga atau estimator. Seperti yang telah dirancang oleh Bahar (2003) tentang penaksir *NN* untuk penyulingan kolom yang berkelanjutan yang terkait dengan menaksir komposisi bagian atas yaitu sejenis *metan* dan bagian alas yaitu sejenis gas hidrokarbon dari temperatur-temperatur. Dia menerapkan suatu teknik *Singular Value Decomposition (SVD)* untuk memilih lokasi-lokasi sensor. Menurut metode *SVD*, misalnya untuk sistim komponen *NC*, pengukuran temperatur *NC-1* diperlukan untuk menilai komposisi. Karenanya, tiga baki dari atas dan tiga dari alas dirancang untuk menaksir komposisi-komposisi itu. Adapun nilainya pada baki-baki tersebut dari bagian atas ke 31, 32, dan 33, dan baki-baki dari alas ke 10, 11 dan 12.

Tahap yang *kedua*, pada tahap ini kita mengidentifikasi data pelatihan. Untuk data pelatihan yang dirancang tersebut harus menguasai cakupan operasional termasuk nilai maksimum dan minimum untuk dari variabel-variabel input-output. Nilai maksimum dan nilai minimum dari tingkat pengaliran kembali di dalam kolom itu ditentukan oleh Bahar (2003) dengan memperhatikan tanggapan-tanggapan dari percobaan tertutup tanpa penaksir yang diperoleh dari Dokucu (2002). Hal ini urutan data dari tingkat pengaliran kembali dengan prosentase mulai dari 5 % , 7 % , 9 % , 11 % , dan 13 %.

Tahap yang *ketiga*. Pada tahap ini struktur-struktur penaksir ANFIS dilatih. Pertama-tama, data pelatihan yang dihasilkan terisi dengan GUI Editor. Sebagai langkah awal, kita pilih parameter-parameter desain untuk membangun suatu struktur ANFIS. Sebagai contoh, jika tiga MFs yang bersegi tiga digunakan untuk masing-masing input maka output tetap MF, GUI Editor menentukan parameter-parameter yang pertama dari bentuk segitiga MFs dan secara otomatis segitiga MFs memproses data yang terisi, serta GUI Editor membangun fungsi keanggotaan fuzzy bagian segitiga dengan jumlah aturan input ada 3 dan output konstantan sebagai struktur ANFIS. Pelatihan-pelatihan struktur-struktur itu dilaksanakan dengan menjalankan program yang ada di tool Box MATLAB.

Dan, di *dalam* tahap yang *kempat*, simulasi-simulasi dilaksanakan untuk memperoleh hasil sebagai evaluasi kinerja. Sesuai hasil simulasi eror yang kecil adalah fungsi keanggotaan fuzzy dengan input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.00000082297 untuk Baki bagian atas. Dan fungsi keanggotaan fuzzy bagian

Segitiga dengan jumlah aturan input ada 5 dan output konstantan dengan skor eror 0.00000057764 untuk Baki bagian bawah.

2. Prosedur menstruksi ANFIS dari komponen-komponen drum pengaliran kembali dari *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2), dan *toluene* (C3) di dalam penyulingan kolom batch.

Untuk *melakukan* penstruksian ANFIS dari komposisi-komposisi drum pengaliran kembali yaitu *sikloheksana* (C1), *n-heptana* (C2) dan *toluena* (C3). Permasalahan ini menerapkan prosedur yang sama seperti yang diterapkan di dalam kasus dari penyulingan kolom yang berkelanjutan sehingga permasalahan tersebut dilaksanakan dalam empat tahap juga yaitu:

Tahap *pertama* pemilihan input sebagai estimator. Di dalam penyulingan kolom yang berkelanjutan, pembahasan tersebut menggunakan metode *SVD* dengan tiga baki sebagai Input untuk menaksir temperature. Jika metoda *SVD* (NC-1) diterapkan di dalam kolom penyulingan *batch*, maka kita harus membagi dari tiga komponen baki tersebut. Karena tiga komponen tersebut dipisah, dua baki sebagai pengukuran temperatur harus dipilih selanjutnya digunakan untuk penilaian di dalam kolom penyulingan *batch*. Oleh karena itu untuk mencerminkan kolom yang dinamis dan baik, maka sebagai ganti dua baki, tiga baki digunakan di dalam kolom penyulingan *batch* tanpa analisa *SVD*. Dengan demikian, kita pilih baki ke-2, ke-5, dan ke-9 unuk digunakan dalam pembahasan ini. Baki-baki itu digunakan satu dari kolom alas, satu dari kolom dibagian tengah dan satu dari kolom bagian atas. Baki-baki yang dipilih ini digunakan untuk penilaian komposisi.

Tahap yang *kedua* mengidentifikasi data pelatihan. Seperti yang dinyatakan di dalam pembahasan kolom yang berkelanjutan, kolom itu dikerjakan dari perbandingan pegaliran kembali secara optimal di bawah kebijakan dari Mujtaba (1993). Kebijakan perbandingan pengaliran kembali secara optimal dan mendesain kolom sebagai parameter dengan nilai presentase mulai dari 5 %, 7 %, 9 %, 11 %, dan 13 %.

Tahap yang *ketiga* pelatihan dari struktur penduga ANFIS. Mendesain suatu struktur ANFIS pada penyulingan kolom *batch* sebagai penaksir sama dengan mendesain dari struktur penaksir dipenyulingan dikolom yang berkelanjutan yang menggunakan *software* MATLAB. Pertama-tama, data pelatihan yang dihasilkan terisi dengan GUI Editor.

Tahap yang *keempat* adalah hasil simulasi. Setelah pelatihan dari struktur-struktur ANFIS, kinerja-kinerja dari penaksir-penaksir struktur ANFIS tersebut bisa kita bandingkan mana skor eror yang paling kecil. Test ini dibuat dengan memanfaatkan dari struktur-struktur penaksir yang berbeda. Di dalam semua simulasi, skor eror menentukan antara komposisi-komposisi yang nyata dengan hasil percobaan sebagai ukuran-ukuran kinerja. Setelah melakukan simulasi, maka kita dapatkan bahwa struktur ANFIS dengan fungsi keanggotaan fuzzy input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstantan dapat dipilih sebagai arsitektur penaksir untuk komposisi *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2) maupun *toluena* (C3). Hasil ini dapat diterapkan kepada kehidupan nyata.

Jadi dari hasil simulasi baik untuk baki komposisi bagian atas dan bawah maupun *sikloheksana* (C1), *n-heptan* (C2), dan *toluena* (C3), maka struktur

ANFIS dengan fungsi keanggotaan fuzzy input MFs Segitiga dengan jumlah aturan input MF ada 5 dan output konstan dapat dipilih sebagai Estimator dan bisa diterapkan dalam kehidupan riil.

4.2 SARAN

Masalah yang dikaji dalam skripsi ini adalah masalah yang masih sederhana, terutama masalah data. Untuk itu perlu adanya pembahasan yang lebih lanjut tentang data-data perlu diperbanyak, fungsi keanggotaan fuzzy diperbanyak, dan juga bisa diaplikasikan bidang ilmu yang lain. Misalnya kita ingin melakukan penelitian untuk mencari jumlah produk berdasarkan pengaruh faktor suhu, kebisingan, dan pencahayaan. Dengan program ANFIS ini, kita tidak perlu lagi mengelompokkan data dari yang kecil hingga besar, kita hanya memasukan data sembarang dan asalkan data tersebut sudah diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdussyakir, 2006. *Ada Matematika dalam Al-Qur'an*. Malang: UIN Malang Press.
- Altug, Sinan, dkk. *Fuzzy Inference Systems Implemented on Neoral Architectures for Motor Fault Detection and Diagnosis*. (online: <http://jurnal ANFIS> diakses 2 juli 2007).
- Depag RI. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahan*. Surabaya: CV. Jaya Sakti.
- Güner, Evren. *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Application Chemical Processes*. (online: <http://jurnal ANFIS> diakses 2 juli 2007).
- Hartanto, Thomas Wahyu Dwi, 2004. *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Husain, Sayyid Muhammad. 2000. *Memahami Esensi Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera.
- Kusumadewi, Sri, Hartati, Sri, 2006. *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri, 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri, 2002. *Analisis dan Desain System fuzzy Menggunakan Tool Box MATLAB*. Jogjakarta: Graha Ilmu.
- Moehtar, Meirios. *Application of Fuzzy Neural Network for Self-tuning a PID Controller*. (online: <http://jurnal ANFIS> diakses 2 juli 2007).
- Nasr, Seyyed Hossein. 2003. *The Heart of Islam: Pesan-pesan Universal Islam untuk Kemanusiaan*. Bandung: Mizan.
- Negoro, ST., Harahap, B., 1998. *Ensiklopedia Matematika*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Shihab, M. Quraish. 2000. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sri Widodo, Thomas, 2005. *Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugirharto, Aris. 2006. *Program GUI dengan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.

Tran, Cong, dkk. *A Concurrent Fuzz-Neural Network Approach for Decision Support Systems*. (online: <http://jurnal ANFIS> diakses 2 juli 2007).

Walle, John A. Van De. 1990. *Elementary School Mathematics: Teaching Developmentally*. New York: Logman.

Yusuf Ali, Abdullah, 1994. *Al-Qur'an Terjemahan dan Tafsirnya*. Jakarta: Pustaka Firdaus.

Zabidi, Abul Abbas Az. 1996. *Himpunan Hadis Sahih Pilihab Berikut Penjelasannya*. Bandung: Trigenda karya.

Zabidi, Imam Az. 2002. *Ringkasan Shahih Al-Bukhari*. Bandung: Mizan.

