



TUGAS AKHIR – TI14 1325

**PENGGUNAAN *INTELLIGENCE ALGORITHM* UNTUK PENILAIAN
KEAMANAN KERJA OPERATOR BERDASARKAN INDIKATOR HSEE
(*HEALTH, SAFETY, ENVIRONMENT, ERGONOMICS*)
STUDI KASUS : PT DEMPO LASER METALINDO INDONESIA**

HUTOMO DWIKI ADIGUNA

NRP. 2510 100 050

Dosen Pembimbing :

Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, M.T.

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TI14 1325

**INTELLIGENCE ALGORITHM FOR ASSESSMENT JOB
SECURITY WITH HSEE INDICATORS (HEALTH, SAFETY,
ENVIRONMENT, ERGONOMICS)**

CASE STUDY : PT DEMPO LASER METALINDO INDONESIA

HUTOMO DWIKI ADIGUNA

NRP. 2510 100 050

Supervisor :

Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, M.T.

DEPARTMENT TEKNIK INDUSTRI

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGGUNAAN INTELLIGENCE ALGORITHM UNTUK PENILAIAN
KEAMANAN KERJA OPERATOR BERDASARKAN INDIKATOR HSEE
(HEALTH, SAFETY, ENVIRONMENT, ERGONOMICS)
STUDI KASUS : PT DEMPO LASER METALINDO INDONESIA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hutomo Dwiki Adiguna

NRP. 2510 100 050

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, M.T.

NIP. 196605311990022001

Surabaya

Januari, 2015

PENGGUNAAN *INTELLIGENCE ALGORITHM* UNTUK PENILAIAN KEAMANAN KERJA OPERATOR BERDASARKAN INDIKATOR HSEE

(*HEALTH, SAFETY, ENVIRONMENT, ERGONOMICS*)

STUDI KASUS : PT DEMPO LASER METALINDO INDONESIA

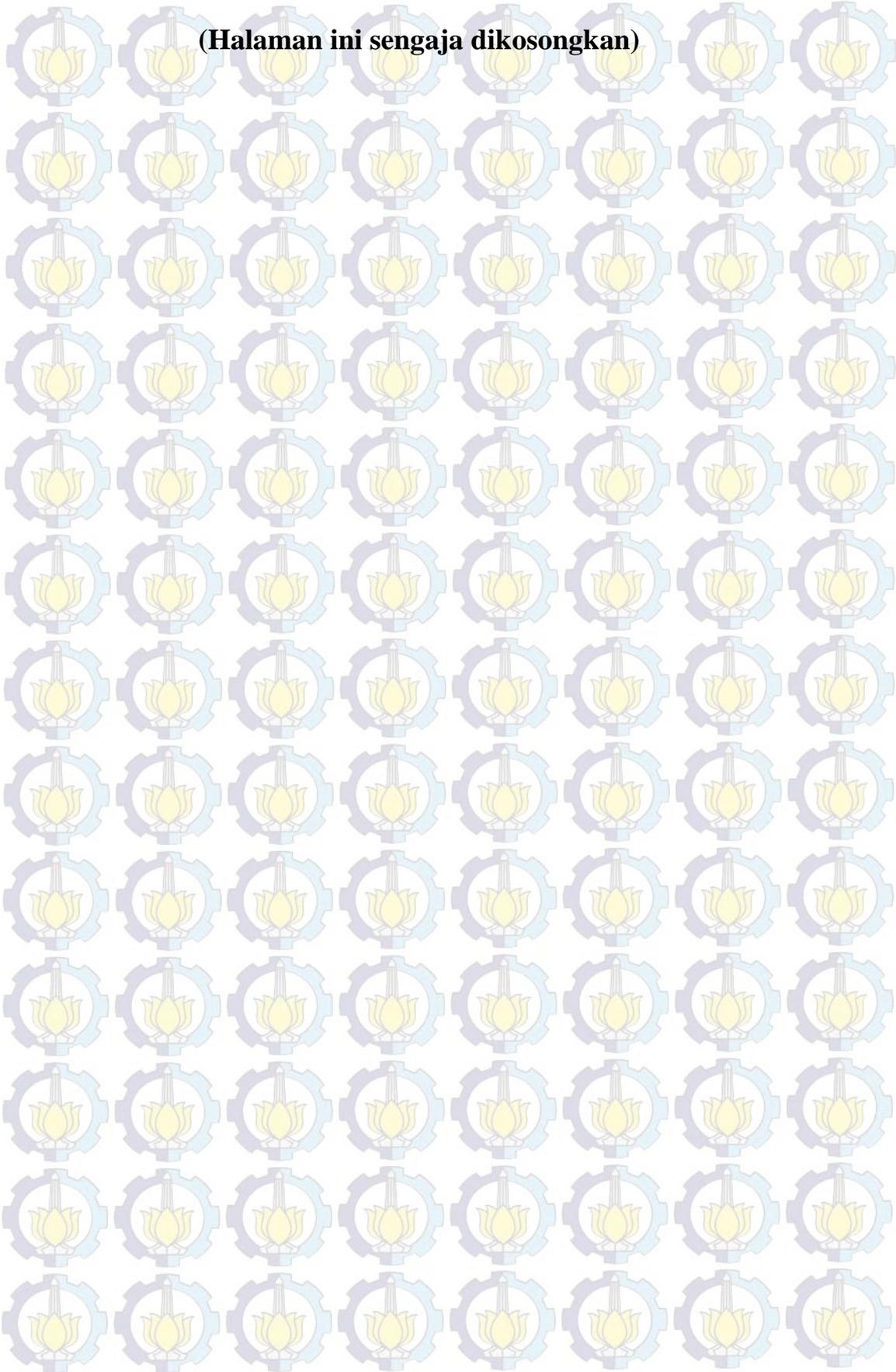
Nama Mahasiswa : Hutomo Dwiki Adiguna
NRP : 2510 100 050
Pembimbing : Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, MT

ABSTRAK

Penilaian tingkat keamanan kerja digunakan untuk mengetahui kemungkinan atau peluang seorang individu dapat kehilangan pekerjaannya yang disebabkan oleh kecelakaan kerja. Perancangan kuesioner digunakan untuk mendapatkan data yang akurat sesuai kebutuhan. Pertanyaan pada kuisisioner yang berhubungan dengan faktor HSEE digunakan sebagai *input variabel* sedangkan faktor *job security* digunakan sebagai *output variabel*. Analisis data dilakukan dengan metode *Adaptive Network Based Fuzzy Inference System* (ANFIS). Kriteria nilai MAPE paling minimum didapatkan pada model ANFIS dengan fungsi *input* GaussMF, empat MF, operator AND (*min*), dan fungsi *output* linear. Berdasarkan model ANFIS tersebut maka diketahui sebagian besar responden menyatakan puas terhadap kondisi keamanan kerja.

Kata kunci : ANFIS, Ergonomi, HSEE, *Job Security*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



INTELLIGENCE ALGORITHM FOR ASSESSMENT JOB SECURITY WITH HSEE INDICATORS (HEALTH, SAFETY, ENVIRONMENT, ERGONOMICS)

CASE STUDY : PT DEMPO LASER METALINDO INDONESIA

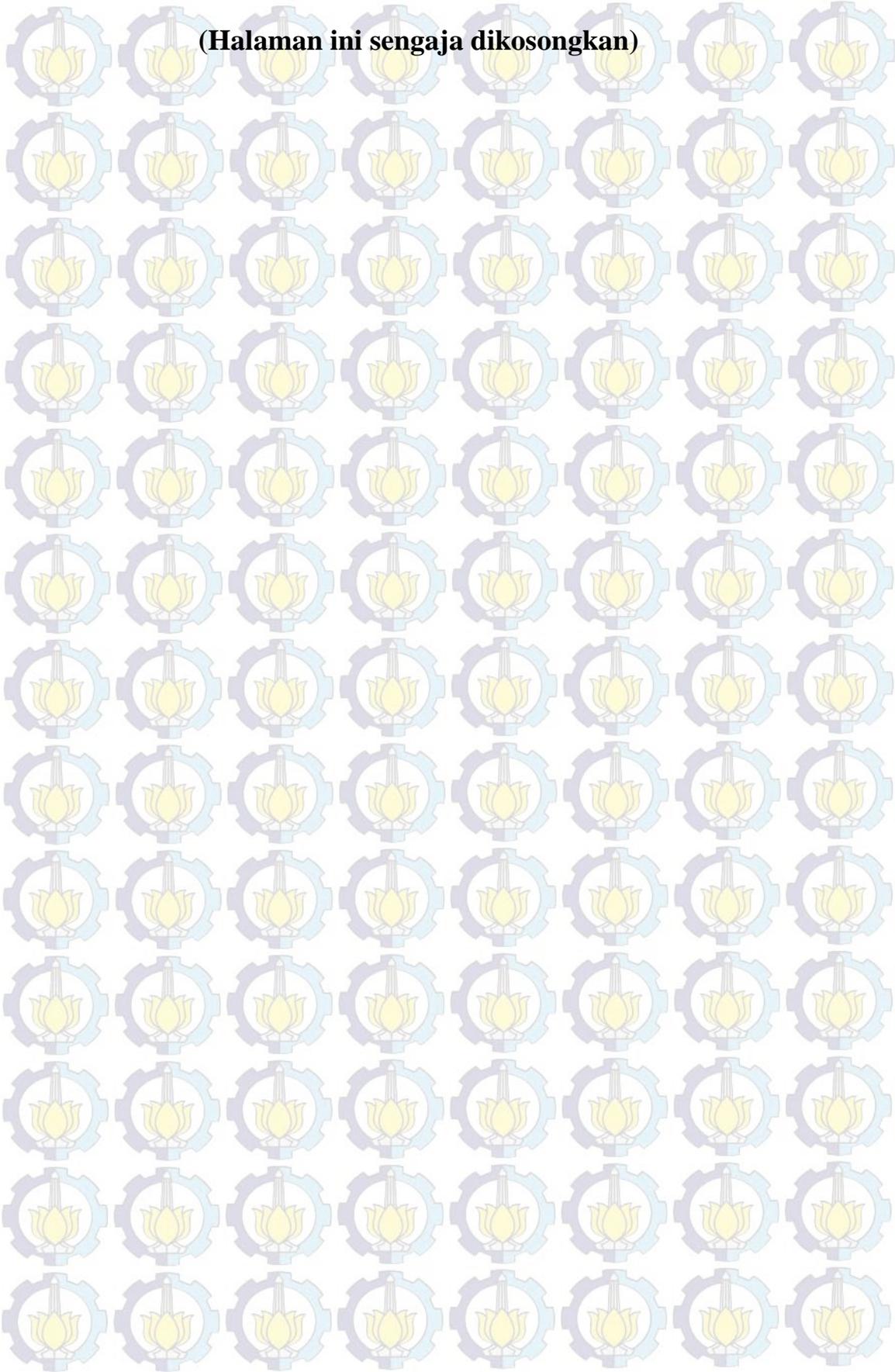
Name : Hutomo Dwiki Adiguna
NRP : 2510 100 050
Supervisor : Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, MT

ABSTRACT

HSEE concept aims to reduce the level of occupational accidents, health problems, and environmental impact. Job Security is the probability or opportunities an individual can lose his job due to workplace accident. Based on observations in PT Dempo Laser Metalindo Indonesia, note that there were no instructions or documentation of job security regulations on the production floor. Design of questionnaire used to obtain accurate data according to needs. The question associated with HSEE factor used as input variabel while job security used as output variable. Data analysis done with Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS). Minimum criteria MAPE value obtained with an input function GaussMF, four MF, operator AND (min), and output function linear. Based on the ANFIS model then known the majority of respondents said satisfied with the condition of job security.

Keywords : ANFIS, Ergonomi, HSEE, *Job Security*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, rizki, dan hidayah-Nya sehingga penelitian Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan judul "Penggunaan *Intelligence Algorithm* untuk Penilaian Operator Terhadap Kondisi Keamanan Kerja (*Job Security*) dengan Mempertimbangkan Indikator HSEE (*Health, Safety, Environment, Ergonomics*) sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S-1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi teladan bagi seluruh umat manusia

Dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan, bantuan, dan motivasi dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis ingin mengucapkan terima kasih terhadap berbagai pihak yang berperan dalam penelitian Tugas Akhir, antara lain :

1. Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, MS., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Industri ITS
2. Bapak Yudha Andrian S, ST., MBA selaku koordinator Tugas Akhir
3. Ibu Dr. Ir. Sri Gunani Partiw, MT selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan motivasi sehingga penelitian Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan tepat waktu
4. Bapak Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D selaku dosen wali
5. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Industri ITS atas bimbingan dan bantuan selama kegiatan perkuliahan
6. Bapak Machfud selaku wakil dari PT Dempo Laser Metalindo
7. Bapak H. Aris W Budihardjo dan Ibu Hj. Udi Sukma H kedua orangtua yang selalu memberikan doa dan motivasi dalam penulisan Tugas Akhir
8. Seluruh keluarga penulis, mbak Raisha, Mas Yudhi, adik Fathia dan adik Kenya yang selalu memberikan bantuan selama ini
9. Seluruh rekan yang sedang mengerjakan Tugas Akhir semoga diberikan kelancaran dan kesuksesan

10. Keluarga besar Teknik Industri angkatan 2010 atas kenangan dan banyak pelajaran yang diberikan selama masa perkuliahan

11. Keluarga Wisma Permai 3/6 yang memberikan banyak bantuan dan motivasi selama masa kuliah dan pengerjaan Tugas Akhir

12. Seluruh keluarga, sahabat, dan teman yang belum dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, terima kasih atas segala bantuan yang diberikan

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan Tugas Akhir masih terdapat banyak kekurangan, jika berkenan rekan-rekan dapat memberikan kritik dan saran sehingga penelitian ini dapat lebih bermanfaat.

Akhir kata penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan yang ada.

Surabaya, Januari 2015

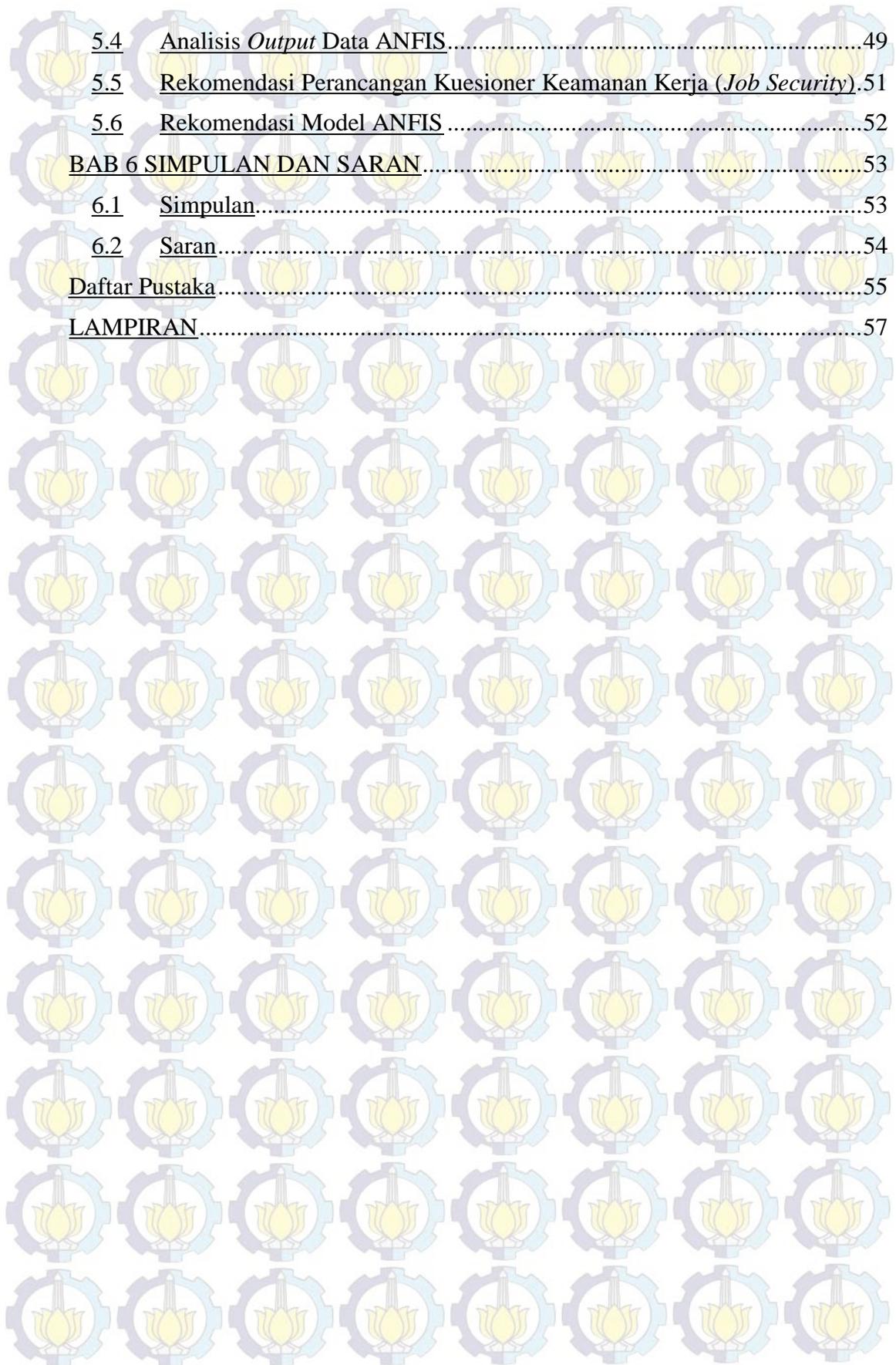
Penulis

DAFTAR ISI

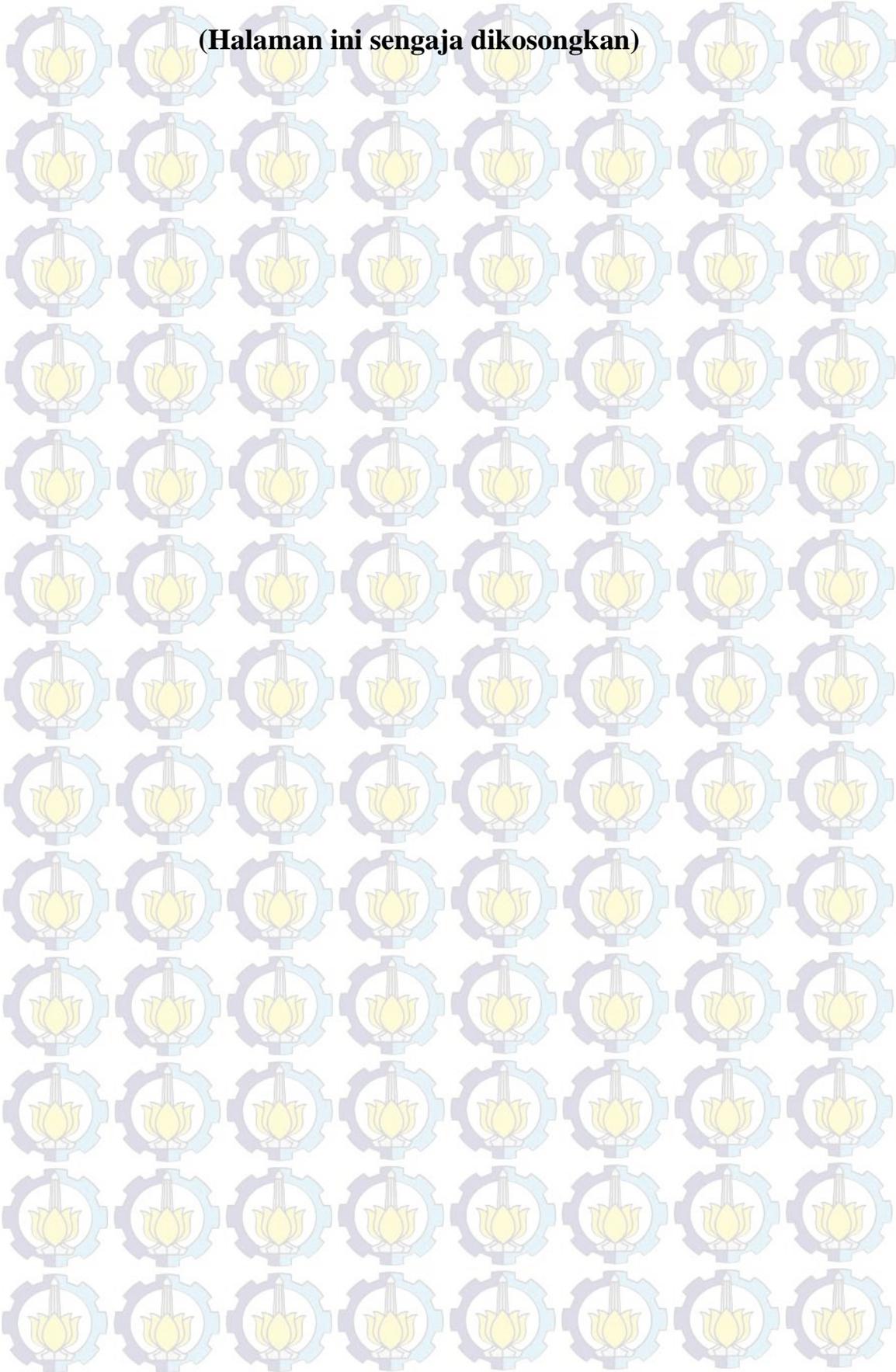
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Manfaat bagi Perusahaan.....	4
1.4.2 Manfaat bagi Penulis.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5.1 Batasan.....	4
1.5.2 Asumsi.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Unsafe Behaviour</i>	7
2.1.1 Upaya untuk Mengurangi Tindakan <i>Unsafe Behaviour</i>	7
2.2 Bahaya (<i>Hazard</i>).....	8
2.2.1 Kebisingan.....	8
2.2.2 Suhu Ruangan.....	9
2.2.3 Pencahayaan.....	10
2.3 <i>Soft Computing</i>	11
2.4 Jaringan Adaptif (<i>Adaptive Network</i>).....	11
2.5 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Inference System</i>).....	12
2.5.1 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> Sugeno (TSK, Takagi-Sugeno-Kang).....	12
2.5.2 Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> Tsukamoto.....	13
2.6 Logika <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Logic</i>).....	13
2.6.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Set</i>).....	13

2.6.2	<u>Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)</u>	14
2.6.3	<u>Operator – Operator <i>Fuzzy</i></u>	14
2.7.1	<u>Arsitektur ANFIS</u>	16
2.8	<u>Performansi</u>	18
2.9	<u>Perhitungan Efisiensi Data</u>	18
2.10	<u><i>Anderson-Darling Test</i></u>	19
2.11	<u>Penelitian Sebelumnya</u>	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	<u>Tahap Pengumpulan Data</u>	23
3.1.1	<u>Perancangan Instrumen Kuesioner</u>	23
3.1.2	<u>Pengisian Kuesioner</u>	23
3.1.3	<u>Uji Reliabilitas dan Validitas Hasil Kuesioner</u>	23
3.1.4	<u>Penentuan Variabel <i>Train</i> dan <i>Test Data</i></u>	23
3.2	<u>Tahap Pengolahan Data</u>	24
3.2.1	<u>Estimasi Hubungan Antara <i>Input</i> dengan <i>Output</i></u>	24
3.2.2	<u>Perhitungan <i>Output Data</i></u>	24
3.2.3	<u>Penilaian Tingkat Efisiensi Operator</u>	24
3.2.4	<u><i>Plot Data</i> dan Koreksi terhadap <i>Outlier Operators</i></u>	24
3.3	<u>Tahap Analisis dan Intepretasi Data</u>	25
3.4	<u>Tahap Kesimpulan dan Saran</u>	25
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA		27
4.1.1	<u>Uji Validitas</u>	31
4.1.2	<u>Uji Reliabilitas</u>	32
4.2	<u>Penentuan <i>Train Data (S1)</i> dan <i>Test Data (S2)</i></u>	33
4.3	<u>Pengolahan Data</u>	35
4.3.1	<u>Estimasi Hubungan <i>Input</i> dengan <i>Output</i></u>	35
4.3.2	<u>Perhitungan <i>Output Data</i></u>	37
4.3.3	<u>Penilaian Tingkat Efisiensi Operator</u>	38
4.3.4	<u><i>Plot Data</i> dan Perbaikan terhadap <i>Outlier Operators</i></u>	39
BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA		41
5.1	<u>Analisis Perancangan Kuesioner</u>	41
5.2	<u>Analisis Hasil Penilaian Kuesioner</u>	44
5.3	<u>Analisis Model ANFIS</u>	48

5.4	<u>Analisis <i>Output</i> Data ANFIS</u>	49
5.5	<u>Rekomendasi Perancangan Kuesioner Keamanan Kerja (<i>Job Security</i>)</u>	51
5.6	<u>Rekomendasi Model ANFIS</u>	52
BAB 6 SIMPULAN DAN SARAN		53
6.1	<u>Simpulan</u>	53
6.2	<u>Saran</u>	54
<u>Daftar Pustaka</u>		55
<u>LAMPIRAN</u>		57



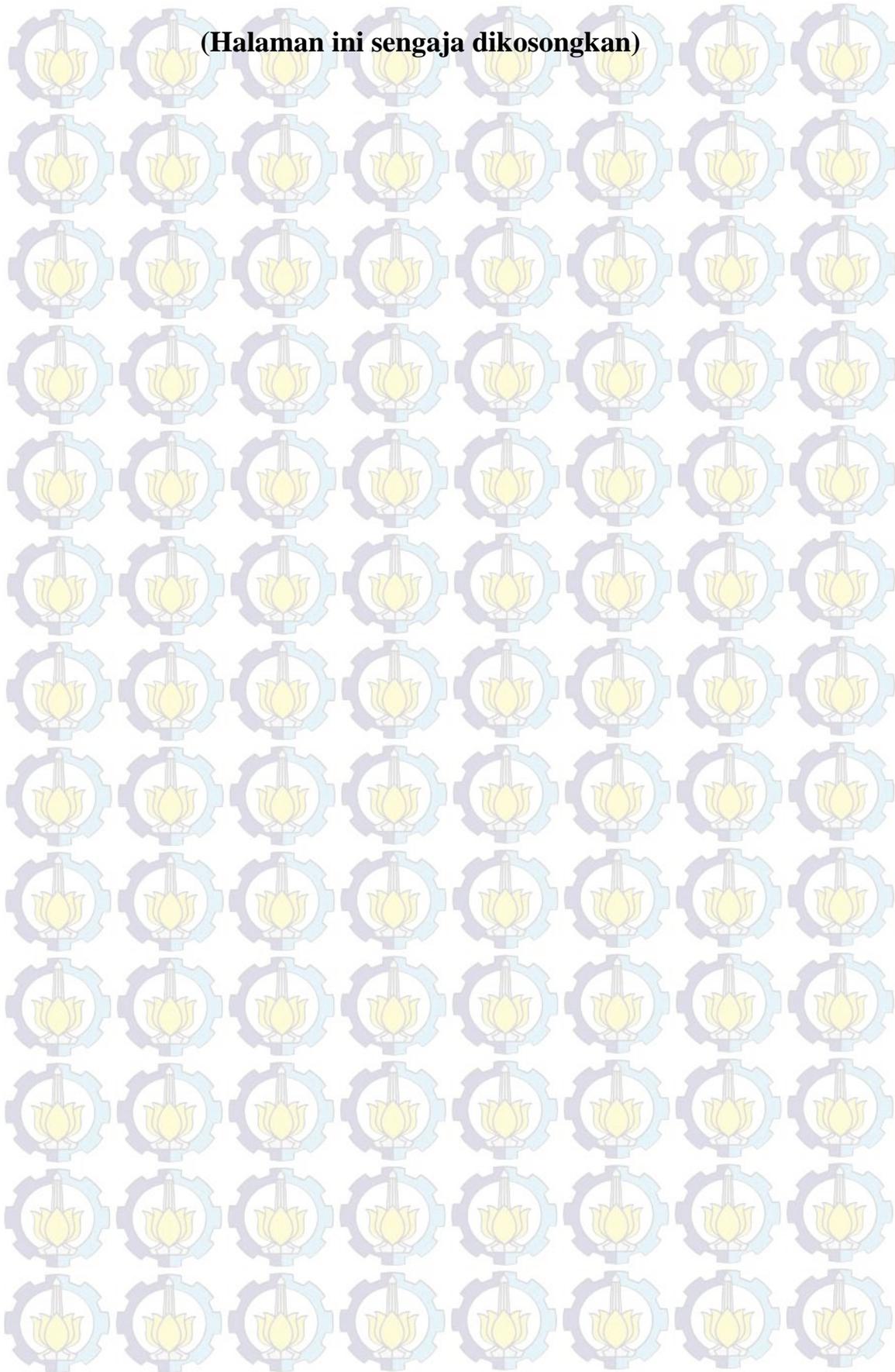
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Kebisingan Maksimum.....	9
Tabel 2.2 Nilai Ambang Batas Iklim Kerja Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB) ..	9
Tabel 2.3 Standar Tingkat Pencahayaan	10
Tabel 2.4 Perbandingan Metode Penelitian yang Berhubungan dengan HSEE dan <i>Job Security</i>	20
Tabel 4.1 Daftar Pertanyaan untuk Kategori <i>Health</i> pada Kuesioner	28
Tabel 4.2 Daftar Pertanyaan untuk Kategori <i>Safety</i> pada Kuesioner.....	28
Tabel 4.3 Daftar Pertanyaan untuk Kategori <i>Environment</i> pada Kuesioner.....	29
Tabel 4.4 Daftar Pertanyaan untuk Kategori <i>Ergonomics</i> pada Kuesioner	29
Tabel 4.5 Rekap Data Kuesioner Penilaian Keamanan Kerja	31
Tabel 4.6 Data Validasi (S2).....	34
Tabel 4.7 <i>Training Data</i> (S1).....	34
Tabel 4.8 <i>Training Data</i> (Lanjutan).....	35
Tabel 4.9 Jenis <i>Inference Method</i> dan Aturan Probabilitas	36
Tabel 4.10 Nilai Minimum MAPE dari 24 Model yang Berbeda.....	36
Tabel 4.11 Estimasi Nilai Efisiensi Operator untuk <i>Output Job Security</i>	38

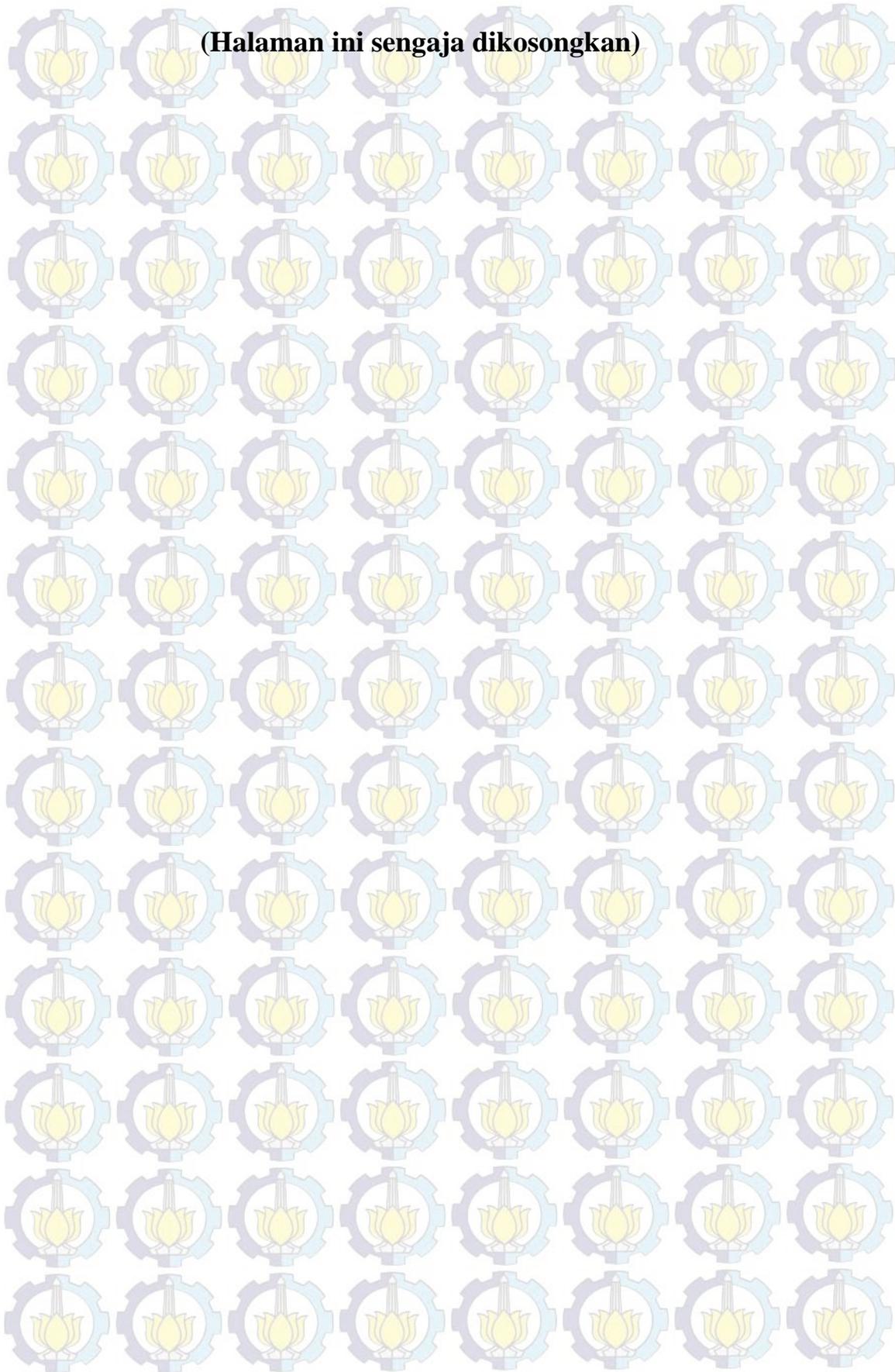
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian (lanjutan).....	22
Gambar 4.1 Uji Validitas dengan Menggunakan Metode Analisis Faktor	32
Gambar 4.2 Uji Reliabilitas dengan Menggunakan Metode <i>Cronbach Alpha</i>	33
Gambar 4.3 Perbandingan <i>Output</i> Data (ANFIS) dengan <i>Output</i> Data kuisisioner.	37
Gambar 4.4 <i>Normal Probability Plot</i> untuk Nilai Efisiensi Operator	39
Gambar 4.5 <i>Normal Probability Plot</i> (Perbaikan).....	40

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Daftar Pustaka

- Abou-Ali, M. & Khamis, M., 2003. An integrated intelligent defect diagnostic system for tire production and service. *Expert Systems with Applications*, pp. 247-259.
- Annie, Y., 2000. *Bising Bisa Timbulkan Tinnitus dan Tuli*. Jakarta: Intisari.
- Arikunto, S., 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Asfahl, R., 1999. *Industrial Safety and Health Management*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Athanassopoulos, A. D. & Curram, S., 1996. A comparison of data envelopment analysis and artificial networks as tool for assessing the efficiency of decision-making units. *Journal of the Operational Research Society*, pp. 1000-1016.
- Azadeh, A., Fam, I. M., Khosnoud, M. & Nikafrouz, M., 2008. Design and implementation of a *fuzzy* expert system for performance assessment of an integrated health safety environment (HSE) and ergonomic system : the case of gas refinery. *Information Sciences*, pp. 4280-4300.
- Azadeh, A., Ghaderi, S., Anvari, M. & Saberi, M., 2007. Performance assessment of electric power generations using an adaptive neural network algorithm. *Energy Policy*, pp. 3155-3166.
- Azadeh, A., Rouzahman, M., Saberi, M. & Valianpour, F., 2014. An Adaptive Algorithm for Assessment of Operator with Job Security and HSEE Indicators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, pp. 26-40.
- Aznarte, J. et al., 2007. Forecasting airborne pollen concentration time series with neural and neuro-*fuzzy* models. *Expert System*, pp. 1218-1225.
- Changchit, C. & Holsapple, C. W., 2001. Supporting manager's internal control evaluations : an expert systems and experimental results. *Decision Support Systems*, pp. 437-449.
- Cooper, D. & Schindler, P., 2003. *Business Research Methods*. New York: McGraw Hill.
- Deng, H., 1999. Multicriteria analysis with *fuzzy* pair wise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, III(21), pp. 908-920.
- Gay, L. & Diehl, P., 1992. *Research Methods for Business and Management*. New York: McMillan Publishing Company.
- Hair, J. et al., 2006 . *Multivariate Data Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Hammer, W., 1989. *Occupational Safety Management and Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Jang, J.-S. R., 1993. ANFIS : Adaptive Network Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*.

Jang, J.-S. R., Sun, C.-T. & Mizutani, E., 1997. *Neuro Fuzzy and Soft Computing : A Computational Approach and Machine Intelligence*. New Jersey USA: Prentice-Hall Inc.

Kusumadewi, S., 2002. *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Kusumadewi, S. & Hartati, S., 2006. *Neuro Fuzzy : Integrated Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Makridakis, S., Wheelwright, S. & McGee, V., 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Miner, B., 1994. *Industrial and Organizational Psychology*. USA: McGraw Hill.

Muchinsky, P., 1987. *Psychology Applied to Work*. Chicago: Dorsey Press.

Patria, B., 2007. *bhinablog*. [Online] Available at: <http://www.inparametric.com/bhinablog/>

Santosa, B., 2007. *Data Mining Terapan Dengan Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Santoso, S., 2006. *Seri Solusi Bisnis Berbasis TI : Menggunakan SPSS untuk Statistik Multivariat*. Jakarta: Elex Media Komputindo.

Sasongko, D., 2000. *Kebisingan Lingkungan*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

Shikdar, A. & Sawaqed, M., 2004. Occupational health and safety in the oil industry : a manager's response. *Computer and Industrial Engineering* , pp. 223-232.

Sugiyono, 2011. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.

Suma'mur, P., 2009. *Hygiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: Sagung Seto.

Zulganef, 2006. *Pemodelan Persamaan Struktur dan Aplikasinya Menggunakan AMOS 5*. Bandung: Pustaka.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hutomo Dwiki Adiguna dilahirkan di Semarang, 17 Januari 1992. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara pasangan bapak H. Aris W Budihardjo, S.H. dan ibu Hj. Dra. Udi Sukma Handayani.

Pendidikan formal yang telah dijalani oleh penulis dimulai dari SDN Barenglor 4 Klaten, SMPN 2 Klaten, SMAN 3 Yogyakarta dan diterima pada program sarjana Institut Negeri Sepuluh Nopember (ITS) jurusan Teknik Industri pada tahun 2010.

Penulis berkesempatan untuk mengetahui proses industri melalui program kerja praktik (KP). Kegiatan tersebut dilaksanakan pada periode Juli hingga Agustus tahun 2013 di PT Coca Cola Bottling Indonesia yang berlokasi di Pandaan, Jawa Timur. Penulis dapat dihubungi di alamat email adigunadwiki@gmail.com.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan mengenai hal yang menjadi dasar pentingnya penelitian ini untuk dilaksanakan. Dasar penelitian tersebut diantaranya adalah latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan penelitian.

1.1 Latar Belakang

Konsep HSE (*health, safety, environment*) telah dipahami sebagai satu entitas dan digunakan di banyak perusahaan (Deng, 1999). HSE bertujuan untuk mengurangi tingkat kecelakaan kerja, masalah kesehatan dan dampak lingkungan. Dengan pertimbangan faktor tersebut, maka diharapkan setiap pekerjaan yang dilakukan oleh operator disertai dengan standar kesehatan dan keselamatan sebagai prioritas utama. Perusahaan juga dapat meminimumkan biaya dan penundaan waktu produksi sebagai akibat dari kecelakaan kerja serta berkontribusi terhadap kelestarian lingkungan selama siklus produksi.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan konsep ergonomi di dalam perencanaan dan perancangan sistem kerja (*machine, job, environmental design*) memiliki dampak yang positif (Azadeh, et al., 2008; Shikdar & Sawaqed, 2004; Abou-Ali & Khamis, 2003). Penerapan faktor ergonomi yang efektif di tempat kerja juga menciptakan keseimbangan antara *human operators* dan *job design* sehingga mampu meningkatkan produktifitas kerja, perbaikan keselamatan kerja (fisik dan mental) serta keamanan kerja atau *job security* (Azadeh, et al., 2014).

Job security merupakan probabilitas dimana seorang individu dapat mempertahankan pekerjaannya (Azadeh, et al., 2014). Suatu pekerjaan dapat dikatakan memiliki level *job security* yang tinggi jika hanya terdapat sedikit kemungkinan atau peluang untuk seorang individu kehilangan pekerjaannya karena kecelakaan kerja. Pada penelitian ini penilaian *job security* atau keamanan kerja berdasarkan pengisian kuisisioner oleh pekerja / operator dengan mempertimbangkan

indikator HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*) yang terdapat di lingkungan kerja (kondisi *existing*).

Penelitian ini dilaksanakan di PT Dempo Laser Metalindo yang berlokasi di Jl. Rungkut Industri I / 29 Surabaya. Perusahaan ini bergerak dalam bidang *sheet metal fabrication* dimana salah satu keunggulan proses produksi yang dimiliki adalah *high precision sheet metal component* dengan teknologi *laser cutting*. PT Dempo Laser Metalindo mulai beroperasi pada tahun 2003 dan saat ini didukung dengan 76 karyawan yang terdiri dari 10 orang di bagian *engineering*, 53 orang di bagian produksi dan 16 orang di bagian administrasi. Pada divisi produksi dilakukan pembagian waktu kerja menjadi dua *shift*, yaitu pada pukul 07.30 – 16.30 dan 19.30 – 03.30. Secara keseluruhan terdapat empat fasilitas proses produksi yang dimiliki oleh perusahaan yaitu *cutting / punching, bending, welding* dan *finishing / assembly*. Bahan baku yang digunakan terdiri dari tiga jenis yaitu *aluminium, mild steel* dan *stainless steel*.

Proses manufaktur yang dikerjakan sesuai dengan karakteristik masing-masing produk pesanan, sehingga terdapat kemungkinan hanya sebagian dari proses produksi yang dilakukan. Informasi spesifikasi produk pesanan dari konsumen akan dikerjakan pertama kali oleh divisi *engineering* dimana dalam proses ini ditentukan mengenai gambar teknik produk pesanan, proses produksi yang dibutuhkan, dan jadwal produksi. Dokumen *engineering* selanjutnya diserahkan kepada operator untuk masing-masing proses produksi dan diawasi oleh *manager* produksi.

Berdasarkan PP No 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja disebutkan bahwa perlindungan keamanan kerja operator paling minimum dilakukan dengan cara penyusunan prosedur dan instruksi kerja serta upaya menghadapi keadaan darurat kecelakaan dan bencana industri. Pelaksanaan kegiatan tersebut berdasarkan identifikasi bahaya, penilaian dan analisa, serta pengendalian resiko yang ada di area kerja. Operator / pekerja dan pihak lain yang terkait wajib mematuhi peraturan keamanan kerja yang telah disusun serta didukung dengan prosedur pelaporan dan dokumentasi seluruh kegiatan.

Pada pengamatan yang dilakukan di PT Dempo Laser Metalindo, diketahui bahwa operator telah mendapatkan pelatihan penggunaan mesin produksi

namun tidak ditemukan petunjuk informasi mengenai standar operasional prosedur (SOP) di unit kerja. Peraturan keamanan kerja telah disusun oleh perusahaan namun tidak ditemukan papan informasi mengenai peraturan tersebut sehingga mudah untuk dimengerti oleh operator di lantai produksi. Pada objek penelitian juga tidak ditemukan prosedur evakuasi (jalur evakuasi, petunjuk informasi evakuasi, dan lokasi evakuasi) jika terjadi nyala api atau ledakan di area kerja.

Dalam penelitian ini digunakan metode *Adaptive Network Based Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk pengukuran kondisi keamanan kerja berdasarkan hasil penilaian operator terhadap berdasarkan indikator HSEE. Model ANFIS juga digunakan untuk melakukan perhitungan tingkat efisiensi operator berdasarkan hasil kuisisioner. Metode *Normal Probability Plot* digunakan untuk mengidentifikasi data *outlier operators*. Data tersebut menunjukkan bahwa operator / pekerja tidak puas terhadap pelaksanaan program HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*) pada kondisi saat ini.

Penelitian di bidang ergonomi yang telah dilakukan sebelumnya, lebih banyak membahas mengenai perbaikan atau pengembangan *work system (machine and tools)*. Tidak banyak ditemukan penelitian yang membahas penggunaan *intelligence algorithm* (ANFIS) untuk penilaian keamanan kerja dengan indikator HSEE.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan penilaian mengenai kondisi keamanan kerja yang berhubungan dengan indikator HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*) berdasarkan *input* atau masukan dari operator.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut :

1. Merancang instrumen penilaian terhadap operator mengenai kondisi keamanan kerja dengan mempertimbangkan indikator HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*)

2. Melakukan penilaian kondisi keamanan kerja dengan menggunakan metode ANFIS (*Adaptive Network Based Fuzzy Inference System*)

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat dari sudut pandang perusahaan sebagai objek penelitian dan penulis.

1.4.1 Manfaat bagi Perusahaan

Manfaat yang diperoleh bagi perusahaan yaitu dapat mengetahui penilaian dari operator mengenai faktor keamanan kerja berdasarkan indikator HSEE pada kondisi *existing*. Hal tersebut juga memberikan edukasi kepada operator untuk peduli terhadap lingkungan kerjanya dan memberikan *feedback* kepada manajemen perusahaan untuk dilakukan perbaikan yang diperlukan sehingga dapat tercipta kondisi kerja yang lebih aman.

1.4.2 Manfaat bagi Penulis

Manfaat yang diperoleh bagi penulis yaitu dapat mempelajari dan menerapkan metode penelitian untuk digunakan pada studi kasus industri atau kondisi kerja yang sebenarnya.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1.5.1 Batasan

Batasan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. *Input variabel* yang digunakan dalam penelitian yaitu *health, safety, environment* dan ergonomi (HSEE)
2. *Output variabel* yang dihasilkan dari penelitian ini adalah keamanan kerja
3. Pengisian kuisisioner dilakukan oleh operator yang bekerja di lantai produksi yang telah ditentukan sebelumnya

1.5.2 Asumsi

Asumsi dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Tidak terdapat perubahan kebijakan yang berhubungan dengan HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*) pada perusahaan sehingga berpengaruh terhadap hasil penelitian
2. Operator sebagai responden kuisisioner mampu memahami dan menilai mengenai kondisi keamanan kerja dengan faktor HSEE berdasarkan pengetahuan, keterampilan dan pengalaman yang dimiliki
3. Pada setiap kategori pertanyaan dalam kuisisioner memiliki bobot / *weight* yang sama
4. Data efisiensi operator mengikuti pola distribusi normal
5. Jumlah kuisisioner memenuhi tingkat kecukupan data

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai hal yang menjadi dasar pentingnya penelitian ini untuk dilaksanakan. Dasar penelitian tersebut terdiri dari latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan penelitian.

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan dalam perancangan penelitian ini. Landasan teori tersebut difungsikan sebagai dasar berpikir serta kerangka untuk melakukan analisis pada penelitian ini.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai urutan aktifitas penelitian dan ditampilkan dalam bentuk *flowchart*. Kegiatan penelitian dimulai dari identifikasi dan perumusan masalah, perancangan kuisisioner, pengumpulan

data, perhitungan data (model ANFIS), analisis data, serta kesimpulan dan saran. Sistematika penelitian ditampilkan dalam *flowchart*.

4. BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bagian ini terdapat penjelasan mengenai pengumpulan data kuisisioner dengan indikator HSEE dan *job security*, uji reliabilitas dan validitas data, serta penentuan variabel *input* dan *output*. Data yang telah diperoleh akan digunakan sebagai *input* data ANFIS.

5. BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bagian ini terdapat penjelasan mengenai hubungan *input-output* data, perhitungan *output* data serta perhitungan efisiensi nilai operator. Analisis yang dilakukan meliputi perancangan kuisisioner dan model ANFIS.

6. BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini terdiri dari kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

7. DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini berisi sumber referensi yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini. Referensi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari buku, jurnal ilmiah dan data yang ditemukan pada media online (*website*).

8. LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi dokumentasi data yang terkait dengan penelitian ini. Data tersebut terdiri dari kuisisioner yang dibagikan kepada operator, hasil *running* model ANFIS serta dokumentasi yang terkait dengan objek penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan dalam perancangan penelitian ini. Landasan teori tersebut difungsikan sebagai dasar berpikir serta kerangka untuk melakukan analisis pada penelitian ini.

2.1 *Unsafe Behaviour*

Definisi *unsafe behaviour* adalah berbagai perilaku yang dapat menyebabkan kecelakaan, sebagai contoh aktifitas melakukan pekerjaan tanpa ijin, tidak menggunakan alat pelindung diri serta operasi pekerjaan dalam kecepatan yang berbahaya (Miner, 1994). Berikut ini beberapa alasan yang menyebabkan para pekerja / operator melakukan tindakan *unsafe behaviour* :

1. Merasa telah ahli di bidangnya dan belum pernah mengalami kecelakaan
2. Pihak manager atau pengawas yang tidak peduli *safety* / keselamatan
3. Pekerja ingin memenuhi kebutuhan keselamatan (*safety need*) namun ada faktor kebutuhan lain sehingga menimbulkan konflik dalam dirinya (Muchinsky, 1987). Faktor tersebut diantaranya adalah menghemat waktu dan usaha, merasa lebih nyaman, menarik perhatian, mendapat kebebasan, dan diterima dalam lingkungan.

2.1.1 Upaya untuk Mengurangi Tindakan *Unsafe Behaviour*

Unsafe behaviour dapat diminimalisasi melalui berbagai cara (Patria, 2007), diantaranya sebagai berikut :

1. Menghilangkan bahaya di tempat kerja dengan merekayasa faktor bahaya, dan mengenakan kontrol fisik
2. Mengubah sikap pekerja untuk lebih peduli dengan keselamatan diri sendiri
3. Memberikan *punishment* terhadap tindakan *unsafe behaviour*
4. Memberikan *reward* untuk tindakan yang sesuai dengan *safety behaviour*

2.2 Bahaya (*Hazard*)

Hazard merupakan potensi bahaya yang melibatkan resiko atau kesempatan dan berkaitan dengan elemen-elemen yang tidak diketahui (Asfahl, 1999). *Hazard* juga dapat disebut sebagai kondisi potensial untuk menyebabkan *injury* terhadap personil, atau mengurangi kemampuan untuk melakukan suatu fungsi yang telah ditetapkan (Hammer, 1989). Beberapa kategori *hazard* dalam industri dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bahaya fisik : kebisingan, radiasi, pencahayaan dan suhu panas
2. Bahaya kimia : bahan-bahan kimia berbahaya dan beracun, debu, uap kima, dan larutan kimia
3. Bahaya biologi : virus, bakteri, jamur dan parasit
4. Bahaya mekanis : permesinan dan peralatan
5. Bahaya ergonomi : ruang sempit dan terbatas, pengangkatan barang, mendorong atau menarik, pencahayaan yang tidak memadai, keterbatasan gerak tubuh
6. Bahaya psikososial : pola *shift* pekerja, organisasi pekerjaan, trauma, dan jam kerja yang panjang
7. Bahaya tingkah laku : ketidakpatuhan terhadap standar, tugas baru, dan kurangnya keahlian

2.2.1 Kebisingan

Kebisingan merupakan gangguan yang berpotensi mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan terutama yang berasal dari kegiatan operasional pabrik. Sedangkan operator (karyawan yang mengoperasikan peralatan yang ada di pabrik) merupakan komponen lingkungan yang terpengaruh akibat peningkatan kebisingan (Sasongko, 2000). Sebagai salah satu potensi bahaya di lingkungan kerja, maka diperlukan upaya pengendalian kebisingan untuk karyawan dan lingkungan sekitar.

Gangguan kesehatan pada manusia apabila terpapar arus suara dalam periode waktu yang panjang dan melewati ambang batas yang dapat diterima, maka dapat menyebabkan hilangnya pendengaran pada manusia (Sasongko, 2000). Dampak lain yang ditimbulkan dari faktor kebisingan yaitu ketulian

sementara, ketulian permanen, gangguan komunikasi, efek pada pekerjaan, dan reaksi masyarakat sekitar (Annie, 2000).

Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor : KEP-51/MEN/1999, tentang Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan di tempat kerja telah ditetapkan sebesar 85 dBA. Nilai ambang batas kebisingan adalah intensitas tertinggi dan nilai rata-rata yang masih dapat diterima oleh tenaga kerja tanpa mengakibatkan hilangnya daya dengar yang tetap untuk waktu kerja yang terus menerus dimana tidak lebih dari 8 jam per hari atau 40 jam per minggu. Standar kebisingan berdasarkan KepMen No. 51/MEN/1999 dijelaskan pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Tingkat Kebisingan Maksimum

Lama kebisingan yang diperbolehkan / hari (jam)	Maksimum dBA
8	85
4	88
2	91
1	94
0.5	97
0.25	100

2.2.2 Suhu Ruangan

Suhu ruangan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kondisi dari lingkungan kerja / perusahaan. Berdasarkan KepMen No. 51/MEN/1999 yang mengatur mengenai nilai ambang batas Iklim Kerja Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB) dijelaskan pada tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Nilai Ambang Batas Iklim Kerja Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB)

Pengaturan waktu kerja setiap jam		ISBB (°C)		
		Beban Kerja		
Waktu Kerja	Waktu Istirahat	Ringan	Sedang	Berat
Bekerja terus menerus (8 jam per hari)	-	30	26.7	25
75% Kerja	25% Istirahat	30.6	28	25.9
50% Kerja	50% Istirahat	31.4	29.4	27.9
25% Kerja	75% Istirahat	32.2	32.1	30

Keterangan :

1. Beban kerja ringan, dibutuhkan kalori sebesar 100-200 kkal/jam
2. Beban kerja sedang, dibutuhkan kalori sebesar 200-350 kkal/jam
3. Beban kerja berat, dibutuhkan kalori sebesar 350-500 kkal/jam

2.2.3 Pencahayaan

Faktor pencahayaan juga berpengaruh terhadap kondisi lingkungan kerja. Pencahayaan yang baik memungkinkan tenaga kerja dapat melihat objek yang dikerjakannya secara jelas, tepat, dan tanpa usaha yang tidak perlu (Suma'mur, 2009). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002, tentang Persyaratan Lingkungan Kerja Industri, standar minimal pencahayaan di ruangan kerja sebesar 300 Lux. Tingkat penerangan berdasarkan jenis pekerjaan dimana diatur dalam Keputusan Menteri Kesehatan No. 1405 Tahun 2002, dijelaskan pada tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Standar Tingkat Pencahayaan

Jenis Pekerjaan	Tingkat Pencahayaan Minimal (Lux)	Keterangan
Pekerjaan kasar dan tidak terus menerus	100	Ruang penyimpanan dan ruang peralatan / instalasi yang memerlukan pekerjaan yang kontinyu
Pekerjaan kasar dan terus menerus	200	Pekerjaan dengan mesin dan perakitan kasar
Pekerjaan rutin	300	Ruang administrasi, ruang kontrol, pekerjaan mesin dan perakitan / penyusunan
Pekerjaan agak halus	500	Pembuatan gambar atau bekerja dengan mesin, kantor, pekerja pemeriksaan atau pekerjaan dengan mesin
Pekerjaan halus	1000	Pemilihan warna, pemrosesan tekstil, pekerjaan mesin halus dan perakitan halus
Pekerjaan amat halus	1500 (tidak menimbulkan bayangan)	Mengukir dengan tangan, pemeriksaan pekerjaan mesin dan perakitan yang sangat halus
Pekerjaan terinci	3000 (tidak menimbulkan bayangan)	Pemeriksaan pekerjaan dan perakitan yang sangat halus

2.3 Soft Computing

Soft computing merupakan suatu metode komputasi yang sejajar dengan kehebatan pikiran manusia dalam menalar dan belajar pada lingkungan yang penuh dengan ketidakpastian dan ketidaktepatan (Jang, et al., 1997). Menurut Jang, Sun & Mizutani (1997) komponen utama dari *soft computing* adalah *neural networks* (jaringan syaraf), *fuzzy set theory* (himpunan *fuzzy*) dan *evolutionary computation* (komputasi evolusioner). *Neural networks* (jaringan syaraf) memiliki kelebihan pada faktor pembelajaran dan adaptasi, *fuzzy set theory* (himpunan *fuzzy*) dapat menunjukkan proses pengetahuan dengan *if-then rule* (aturan jika – maka), sedangkan *evolutionary computation* (komputasi evolusioner) memiliki kemampuan untuk melakukan pencarian acak secara sistematis / optimalisasi (Jang, et al., 1997). Ketiga komponen tersebut berfungsi untuk saling melengkapi dan digunakan secara terpadu untuk mendapatkan algoritma yang lebih baik. Contoh penggabungan komponen tersebut diantaranya adalah *Fuzzy Neural Networks* (FNN), *Neural Fuzzy System*, *Fuzzy Genetic Algorithm* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) (Kusumadewi & Hartati, 2006).

2.4 Jaringan Adaptif (*Adaptive Network*)

Jaringan adaptif merupakan suatu struktur jaringan yang terdiri dari beberapa *node* dan beberapa penghubung yang menghubungkan *node* satu dengan *node* yang lainnya. Sebagian atau keseluruhan *node* dalam struktur jaringan merupakan *node* adaptif sehingga *output* yang dihasilkan bergantung kepada parameter *node* tersebut. Tiap *node* pada jaringan adaptif memiliki fungsi tertentu, fungsi ini akan memproses sinyal yang masuk dan parameter *node* tersebut. Menurut Jang (1993) hubungan dalam jaringan adaptif hanya menunjukkan arah aliran sinyal antar *node*, bukan bobot yang terkait dengan hubungan tersebut.

Penggunaan lambang *node* yang berbentuk lingkaran dan persegi menunjukkan kemampuan adaptif yang berbeda. *Node* persegi (adaptif) memiliki parameter – parameter sedangkan *node* lingkaran (tetap) tidak memiliki parameter. Menurut Jang (1993) untuk mencapai pemetaan *input-output* yang diinginkan, parameter ini akan diperbaharui dengan data *training* yang diberikan.

Jaringan adaptif dapat dibedakan menjadi dua kategori berdasarkan jenis hubungan dan arsitekturnya yaitu *feedforward* dan *recurrent*. Disebut *feedforward* karena *output* tiap *node* bergerak maju dari sisi *input* (kiri) ke sisi *output* (kanan) secara utuh. Kategori *recurrent* dapat terjadi apabila terdapat hubungan *feedback* (balik) yang membentuk pola melingkar dalam suatu jaringan (Jang, et al., 1997).

2.5 Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System*)

Sistem inferensi *fuzzy* merupakan suatu kerangka komputasi berdasarkan teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berupa *if-then rule*, dan penalaran *fuzzy* (Kusumadewi & Hartati, 2006). Terdapat tiga jenis sistem inferensi *fuzzy*, yaitu *Fuzzy Mamdani*, *Fuzzy Sugeno* (TSK, Takagi-Sugeno-Kang) dan *Fuzzy Tsukamoto*. Pada sistem inferensi *fuzzy* Mamdani, himpunan *fuzzy input* (antesenden) dan himpunan *fuzzy output* (konsekuen) merupakan himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2002). Berikut ini akan dijelaskan mengenai sistem *fuzzy* tersebut :

2.5.1 Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno (TSK, Takagi-Sugeno-Kang)

Pada sistem inferensi *fuzzy* Sugeno, himpunan *fuzzy* berupa konstanta atau persamaan linier sehingga tidak dibutuhkan proses implikasi dan proses agregasi *output*. Sistem ini terdiri dari dua macam, yaitu :

1. Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno orde nol

Model sistem ini sebagai berikut : **jika x adalah A dan y adalah B maka z = k**, dimana : (2.1)

x dan y adalah variabel *fuzzy input*;

A dan B adalah himpunan *fuzzy input*;

z adalah *output crisp* dengan parameter k sebagai konstanta

2. Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno orde satu

Model sistem ini sebagai berikut : **jika x adalah A dan y adalah B maka z = px + qy + r**, dimana : (2.2)

x dan y adalah variabel *fuzzy input*;

A dan B adalah himpunan *fuzzy input*;

z adalah *output crisp* dengan parameter p, q, dan r sebagai persamaan linier

2.5.2 Sistem Inferensi *Fuzzy* Tsukamoto

Pada sistem ini digunakan konsep penalaran monoton, sehingga nilai *crisp* pada daerah konsekuen dapat diperoleh secara langsung berdasarkan *fire strength* pada antesedennya. Syarat yang harus dipenuhi pada metode ini adalah himpunan *fuzzy* pada daerah konsekuen harus bersifat monoton baik monoton naik maupun monoton turun (Kusumadewi & Hartati, 2006).

2.6 Logika *Fuzzy* (*Fuzzy Logic*)

Menurut Kusumadewi (2002) logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output*. Terdapat beberapa metode yang mampu memetakan proses *input-output* yang sesuai yaitu sistem *fuzzy*, sistem linier, sistem jaringan syaraf dan persamaan diferensial. Menurut Lotfi A. Zadeh (tokoh logika *fuzzy*) *fuzzy* akan memberikan solusi yang terbaik karena lebih cepat dan lebih murah (Kusumadewi, 2002).

2.6.1 Himpunan *Fuzzy* (*Fuzzy Set*)

Himpunan *fuzzy* didefinisikan sebagai himpunan dengan batasan yang tidak terdefinisi secara jelas (*crisp*). Pada himpunan *fuzzy* terdapat fungsi keanggotaan yang memetakan anggota himpunannya (titik-titik *input* data) ke dalam derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu dari nol hingga satu. Jika dalam himpunan tegas, maka nilai derajat keanggotaan hanya nol atau satu.

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Variabel *fuzzy* dapat terdiri dari beberapa himpunan *fuzzy* dengan satu himpunan *fuzzy* hanya memiliki satu fungsi keanggotaan. Rentang nilai terkecil hingga terbesar dari variabel *fuzzy* disebut dengan *universe of discourse*, sedangkan domain *fuzzy* adalah rentang nilai terkecil hingga terbesar dari fungsi keanggotaan.

Menurut Kusumadewi (2002) suatu elemen atau *input* data dapat dikatakan sebagai anggota himpunan *fuzzy* jika :

1. berada dalam domain himpunan *fuzzy* tersebut;
2. nilai kebenaran keanggotaanya lebih dari atau sama dengan nol;
3. berada di atas ambang *alpha cut* (α -cut) yang berlaku. Nilai *alpha cut* adalah nilai yang membatasi domain himpunan *fuzzy*.

2.6.2 Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang memetakan titik-titik *input* data ke dalam derajat keanggotaan yang mempunyai rentang nol hingga satu. *Input crisp* diubah menjadi *input fuzzy* dengan fungsi keanggotaan dan disebut dengan fuzzifikasi. Fungsi keanggotaan pada *software Matlab* terdiri dari delapan jenis, yaitu : *Triangular* (TriMF), *Trapezoidal* (TrapMF), *Generalized Bell* (Gbell MF), *Gaussian* (GaussMF), *Gaussian Combination* (Gauss2MF), *Phi-Shaped* (PiMF), *Difference Two Signoidal* (DsigMF), dan *product two signoidal* (PsigMF).

2.6.3 Operator – Operator *Fuzzy*

Terdapat beberapa operasi yang digunakan untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan *fuzzy input*. Hasil operasi yang terdiri dari dua atau lebih himpunan *fuzzy input* disebut dengan *fire strength* atau α -predikat (α) atau bobot (w). Berikut ini terdapat tiga operasi dasar yang digunakan pada himpunan *fuzzy* (Kusumadewi & Hartati, 2006) :

1. Operator AND

Operator AND atau dapat disebut dengan operator T-norm digunakan untuk operasi interseksi pada himpunan *fuzzy input*. Terdapat dua jenis operator AND yaitu fungsi minimum (*min*) dan fungsi *product* (*prod*). Pada fungsi minimum, bobot (w) sebagai hasil operasi adalah derajat keanggotaan terkecil diantara himpunan-himpunan *fuzzy input*.

$$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A [x] , \mu_B [x]) \quad (2.3)$$

Sedangkan dalam fungsi *product*, bobot (w) sebagai hasil operasi adalah perkalian seluruh derajat keanggotaan dari himpunan-himpunan *fuzzy input* (kusumadewi, 2002) :

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A [x] * \mu_B [x] \quad (2.4)$$

2. Operator OR

Operator OR atau dapat disebut dengan operator T-conorm digunakan untuk operasi *union* pada himpunan *fuzzy input*. Terdapat dua jenis operator OR yaitu fungsi maksimum (*max*) dan fungsi probabilitistik (*probor*)

$$\mu_{A \cup B} = \max (\mu_A [x] , \mu_B [x]) \quad (2.5)$$

Persamaan fungsi probor sebagai berikut (Kusumadewi, 2002) :

$$\mu_{A \cup B} = (\mu_A [x] + \mu_B [x]) - (\mu_A [x] * \mu_B [x]) \quad (2.6)$$

3. Operator NOT

Operator NOT digunakan untuk operasi komplemen pada himpunan *fuzzy input*. Bobot (w) dari operasi ini adalah hasil dari nilai satu dikurangi dengan derajat keanggotaan dari *fuzzy input* yang bersangkutan.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A [x] \quad (2.7)$$

2.7 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS merupakan jaringan adaptif yang memiliki kesamaan fungsi dengan sistem inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference system*) (Jang, et al., 1997). ANFIS dapat disebut sebagai model jaringan syaraf tiruan yang tiap lapisannya atau *layer* menerapkan aturan sistem inferensi *fuzzy*. Pada dasarnya, ANFIS merupakan sistem inferensi *fuzzy* yang dilatih dengan pasangan data *input-output*. Metode ini memungkinkan model *fuzzy* dapat mempelajari informasi dari kelompok pasangan data *input-output* untuk menghitung parameter premis dan konsekuen terbaik sehingga sistem inferensi *fuzzy* dapat memodelkan pasangan data *input-output* (Jang, et al., 1997).

ANFIS memiliki kemampuan dalam hal *self learning* dan *self organizing*, faktor *self learning* ditunjukkan dengan jaringan adaptif sedangkan faktor *self organizing* ditunjukkan dari logika *fuzzy* / *fuzzy logic*. Kelemahan dari logika *fuzzy* yaitu *output* dari model yang disusun pada beberapa kasus tidak sesuai dengan *output* aktual. Proses *self learning* pada jaringan adaptif dapat menemukan parameter terbaik sehingga dapat disusun model yang paling sesuai.

ANFIS memiliki kemampuan generalisasi yang baik karena mampu memodelkan sistem yang kompleks (Jang, 1993). Karakteristik ANFIS untuk mengintegrasikan sistem *fuzzy* dengan jaringan adaptif sebagai berikut (Kusumadewi & Hartati, 2006) :

1. Mampu mengimplementasikan kepakaran manusia;
2. Model komputasi diinspirasi secara biologis;
3. Menggunakan komputasi numeris;

4. Mendukung aplikasi baru pada dunia nyata;
5. Pembelajaran dilakukan dengan model yang tidak terikat;
6. Proses komputasi dilakukan secara intensif;
7. Memiliki toleransi terhadap kegagalan

2.7.1 Arsitektur ANFIS

Dimisalkan suatu sistem inferensi *fuzzy* memiliki dua variabel yaitu x dan y , empat himpunan *fuzzy* dan satu *output* z . Model Sugeno orde satu sebagai sistem inferensi *fuzzy* akan dijelaskan sebagai berikut (Jang, 1993) :

Aturan 1 : jika x adalah A_1 dan y adalah B_1 maka

$$Z_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2.8)$$

Aturan 2 : jika x adalah A_2 dan y adalah B_2 maka

$$Z_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (2.9)$$

1. Lapisan ke-1 (*layer* 1)

Setiap *node* ke- i pada lapisan pertama merupakan *node* yang adaptif (parameter dapat diubah) dengan fungsi *node* sebagai berikut :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (2.10)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad \text{untuk } i = 3,4 \quad (2.11)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa x dan y sebagai *input* dari *node* ke- i , sedangkan μ_{A_i} dan $\mu_{B_{i-2}}$ adalah nilai linguistik ('besar', 'kecil' dll) yang terkait dengan dengan *node* tersebut. $O_{1,i}$ adalah *output* tiap *node* yang berupa derajat keanggotaan yang dihasilkan dari fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* A_1 , A_2 , B_1 dan B_2 . Fungsi keanggotaan tiap himpunan *fuzzy* dapat ditentukan parameternya, apabila digunakan fungsi *gbellMF* maka persamaannya sebagai berikut :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c_i}{a_i} \right|^{2b}} \quad (2.12)$$

Parameter yang digunakan pada persamaan di atas yaitu $\{a_i, b_i, c_i\}$, jika parameter tersebut berubah maka bentuk kurva akan berubah juga. Parameter tersebut disebut dengan parameter premi.

2. Lapisan ke-2 (*layer 2*)

Setiap *node* ke-*i* pada lapisan kedua merupakan *node* yang tetap (parameter tidak dapat diubah). *Output* dari *node* kedua ini adalah hasil kali dari seluruh *output* yang ada di lapisan pertama.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), \text{ untuk } i = 1,2 \quad (2.13)$$

Tiap *output node* lapisan kedua ini memiliki nilai α -predikat atau bobot (w) aturan ke-*i*. Operator AND dapat digunakan sebagai fungsi *node* pada lapisan ini.

3. Lapisan ke-3 (*layer 3*)

Setiap *node* ke-*i* pada lapisan ketiga merupakan *node* yang tetap (parameter tidak dapat diubah). Setiap *node* menghitung rasio nilai bobot (w) aturan ke-*i* terhadap bobot seluruh aturan. *Output* dari lapisan ketiga ini disebut dengan *normalized firing strength*.

$$O_{3,i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \text{ untuk } i = 1,2 \quad (2.14)$$

4. Lapisan ke-4 (*layer 4*)

Setiap *node* ke-*i* pada lapisan ini merupakan *node* yang adaptif (parameter dapat diubah) dengan fungsi *node* sebagai berikut :

$$O_{4,i} = w_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.15)$$

Dengan w_i merupakan nilai *normalized firing strength* dari lapisan ketiga dan $(p_i x + q_i y + r_i)$ adalah parameter yang digunakan pada *node* ini. Parameter *layer* keempat ini disebut parameter konsekuen.

5. Lapisan ke-5 (*layer 5*)

Setiap *node* ke-*i* pada lapisan ini merupakan *node* yang tetap (parameter tidak dapat diubah) dan diberi simbol Σ . *Node* tunggal yang menghasilkan *output* keseluruhan ini diperoleh dengan menghitung rata-rata terbobot (*weighted average*).

$$O_{5,i} = \sum_i w_i z_i = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum w_i} \quad (2.16)$$

2.8 Performansi

Performansi suatu metode dengan *output* yang memiliki nilai kontinu dapat diukur berdasarkan lima kriteria. Semakin kecil nilai *error* (mendekati nol) maka performansi suatu metode dapat dikatakan semakin baik atau metode tersebut semakin akurat. Berikut ini algoritma dari masing-masing kriteria :

1. *Mean Error* (ME)

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n X_i F_i}{n} \quad (2.17)$$

2. *Mean Absolute Error* (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i F_i|}{n} \quad (2.18)$$

3. *Mean Squared Error* (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i F_i)^2}{n} \quad (2.19)$$

4. *Root Mean Squared Error* (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i F_i)^2}{n}} \quad (2.20)$$

5. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i F_i}{X_i} \right| \times 100\%}{n} \quad (2.21)$$

Dimana :

n = jumlah data pengujian

X_i = *output* aktual atau target

F_i = *output* hasil prediksi (*fitted value*)

2.9 Perhitungan Efisiensi Data

Perhitungan efisiensi dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai *error* yang dihasilkan dari *output* aktual ($P_{real(i)}$) dan *error* yang berasal dari *output* optimum ($P_{ANFIS^*(i)}$) selama periode penilaian yang dilakukan terhadap objek amatan (Azadeh, et al., 2014). Berikut ini persamaan yang digunakan dalam perhitungan efisiensi data :

$$E_i = P_{real(i)} - P_{ANFIS^*(i)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.22)$$

Fungsi pembatas dari jaringan syaraf (*neural network*) akan mengalami pergeseran untuk mendapatkan efek *error* positif yang terbesar, berikut ini persamaan dari penjelasan tersebut :

$$E'_i = \frac{E_i}{P_{ANFIS^*(i)}} \quad i = 1,2,\dots,n \quad (2.23)$$

Persamaan diatas tidak memperhitungkan nilai *error* terbesar, untuk menghitung performa operator yang memiliki nilai terbaik (E'_i) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$E'_k = \frac{E_i}{\max E'_i} \quad (2.24)$$

Nilai tiap operator akan mengalami pergeseran (*shifting*) dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Sh_i = \frac{E'_k \times P_{ANFIS^*(i)}}{P_{ANFIS^*(K)}} \quad i = 1,2,\dots,n \quad (2.25)$$

Skor efisiensi dari operator yang berhubungan dengan faktor HSEE dan *job security* bernilai antara 0 hingga 1. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai efisiensi dari masing – masing operator :

$$F_i = \frac{P_{real(i)}}{(P_{ANFIS^*(i)} + Sh_i)} \quad i = 1,2,\dots,n \quad (2.26)$$

2.10 Anderson-Darling Test

Metode *Anderson-Darling* digunakan untuk melakukan pengujian terhadap sampel data yang berasal dari suatu populasi dengan distribusi tertentu (Azadeh, et al., 2014). Metode ini merupakan modifikasi dari metode *Kolmogorov-Smirnov* dimana dalam pengujian data memanfaatkan distribusi tertentu untuk menghitung nilai kritis. Kelebihan yang dimiliki metode *Anderson-Darling* adalah proses uji data dapat lebih sensitif namun nilai kritisnya harus dihitung untuk setiap distribusi. Berikut ini adalah formulasi dari metode *Anderson-Darling* :

$$A^2 = (-N) - S \quad \text{dimana :} \quad (2.27)$$

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\ln F(Y_i) + \ln(Y_{N+1-i})] \quad (2.28)$$

F = fungsi kumulatif distribusi, Y_i = orde

2.11 Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah tabel perbandingan beberapa penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan faktor HSEE (*health, safety, environment, ergonomics*) dan *job security* :

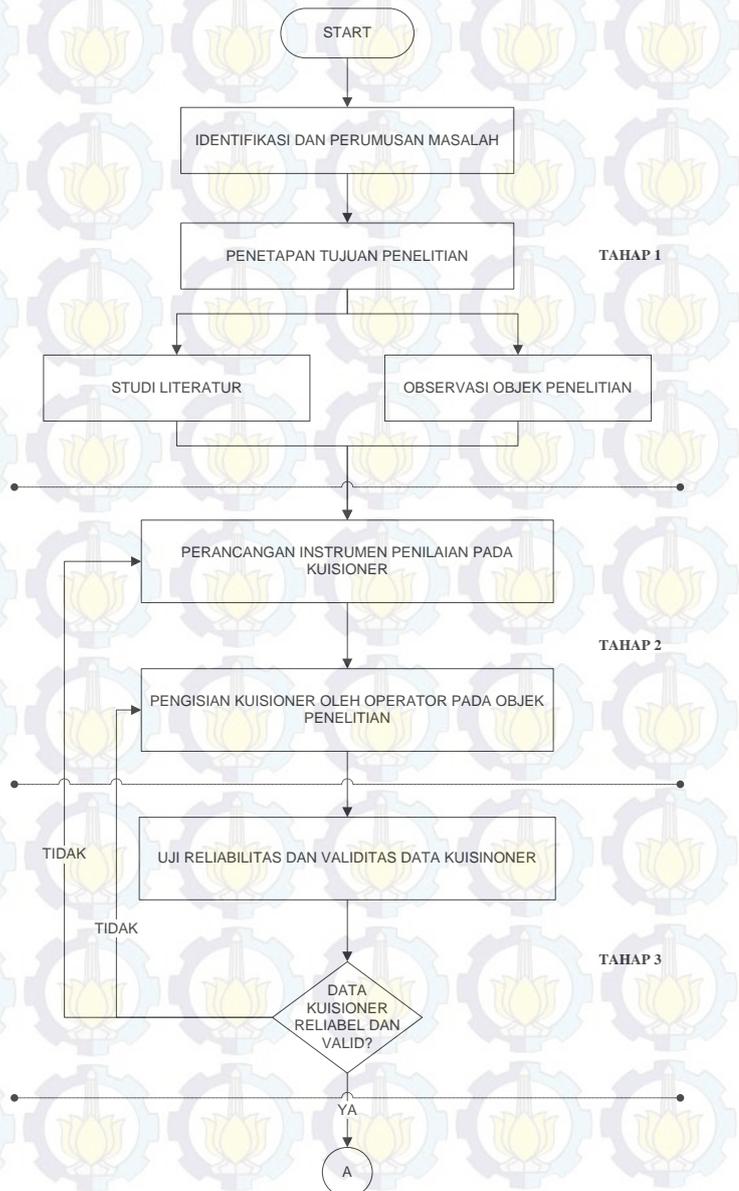
Tabel 2.4 Perbandingan Metode Penelitian yang berhubungan dengan HSEE dan *Job Security*

Methods approaches	Features											
	Crisp data	Non crisp data	Handling data linearity	Handling data nonlinearity	Sensitivity to outlier and noisy	Handling outliers	HSE modelling	Ergonomics modelling	Job security evaluation	Job security	Intelligent modelling and forecasting	High precision and reliability
DEA		*		*								
Adaptive Neural Network		*	*	*		*	*	*			*	*
Principal Component Analysis		*	*		*							
Numerical Taxonomy		*	*		*							
Stochastic Frontier Analysis		*	*		*							
Fuzzy C-Means		*	*	*		*						*
Integrated algorithm for job security and HSE	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Delphi methods						*	*					
Statistical methods						*	*					
Torp and Moen (2006)						*	*					
Azadeh, dkk (2006)							*					
Fam, dkk (2006)							*					
Fam, dkk (2008)							*					
Azadeh, dkk (2008b)						*	*					

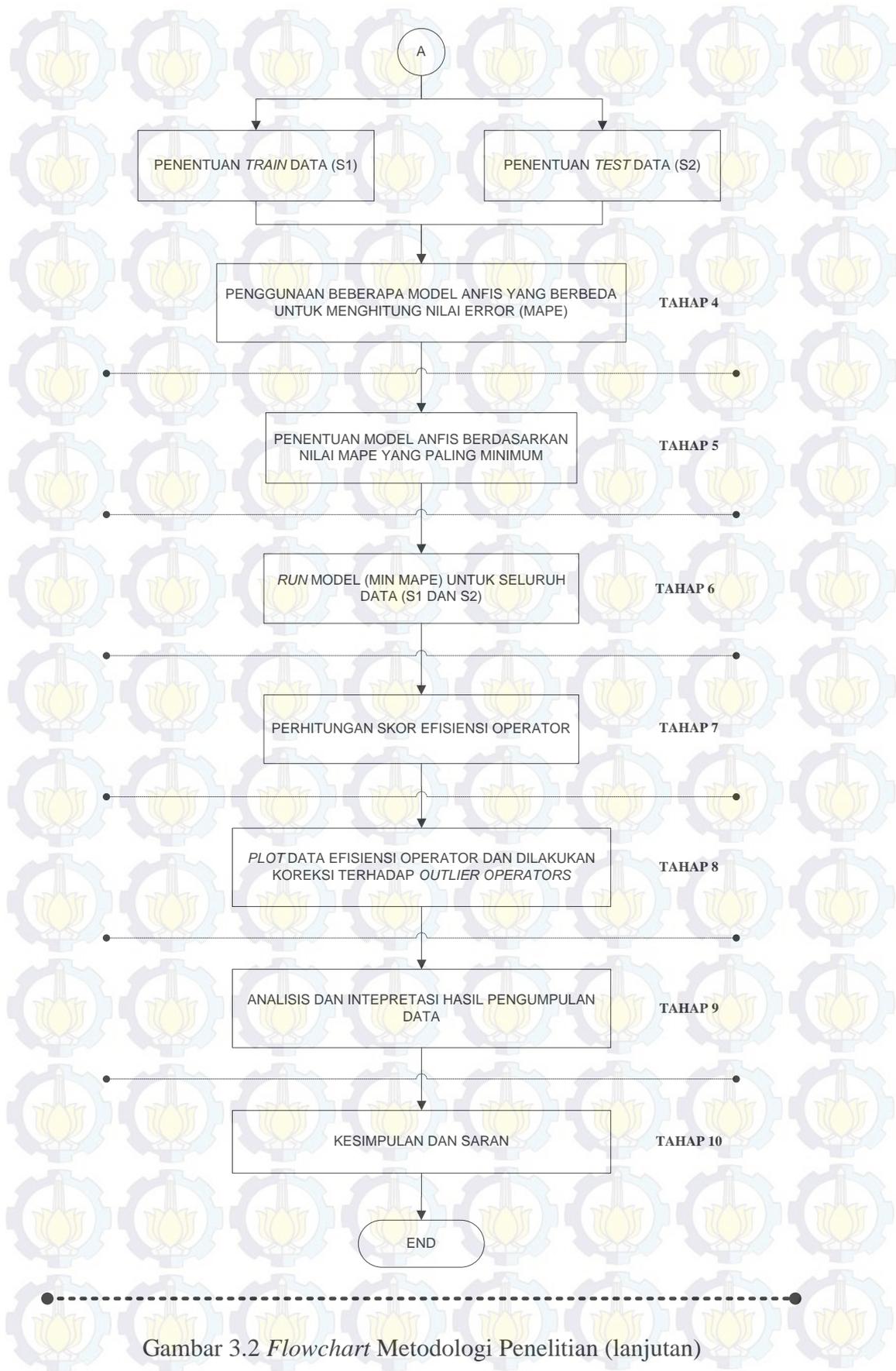
Berdasarkan tabel diatas maka dapat diketahui bahwa terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisa terhadap faktor HSEE dan *job security*. Penggunaan metode ANFIS memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan metode lainnya karena mampu mengakomodasi seluruh fitur yang terkait dengan perhitungan data tersebut.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi dan perumusan masalah, perancangan kuisisioner, pengumpulan data, perhitungan data (model ANFIS), analisis data, serta kesimpulan dan saran. Sistematika atau tahapan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 *Flowchart* Metodologi Penelitian (lanjutan)

3.1 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini data dikumpulkan dari objek amatan untuk selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis data

3.1.1 Perancangan Instrumen Kuesioner

Pertanyaan yang terdapat pada kuisisioner dibagi menjadi dua jenis, kategori *input* yaitu HSEE (*Health, Safety, Environment, Ergonomics*) dan satu kategori *output* yaitu *job security*. Untuk kategori *input* (HSEE) terbagi dalam empat grup dimana masing-masing grup terdapat lebih dari satu pertanyaan, sedangkan pada kategori *output* (*job security*) hanya terdapat satu pertanyaan. Perhitungan nilai atau skor untuk satu kategori berdasarkan nilai rata-rata dari setiap pertanyaan yang terdapat pada kategori tersebut.

3.1.2 Pengisian Kuesioner

Kuisisioner diberikan kepada sejumlah responden (30 orang atau lebih) yang bekerja sebagai operator di satu unit produksi. Masing – masing pertanyaan memiliki nilai bobot / *weight* antara 1 – 4 (nilai 4 menunjukkan evaluasi yang sangat baik). Pada penelitian ini diasumsikan tiap kategori (HSEE dan *job security*) memiliki nilai bobot / *weight* yang sama.

3.1.3 Uji Reliabilitas dan Validitas Hasil Kuesioner

Uji reliabilitas pada hasil kuisisioner digunakan untuk penilaian apakah kuisisioner tersebut mampu mendapatkan hasil yang sama jika digunakan pada waktu yang berbeda. Sedangkan uji validitas digunakan untuk pengukuran hasil yang dicapai dari suatu kuisisioner (Cooper & Schindler, 2003). Pada tahap ini digunakan metode Cronbach's Alpha untuk melakukan uji reliabilitas pada kuisisioner. Selanjutnya uji validitas pada kuisisioner dilakukan dengan metode *factor analysis*.

3.1.4 Penentuan Variabel *Train* dan *Test* Data

Data kuisisioner (S) menjelaskan tentang hubungan *input-output* antar operator. Diasumsikan terdapat sejumlah n operator yang akan dievaluasi lebih lanjut. Data tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian, yaitu *training data* (S1) dan *validation data* (S2). Pada umumnya jumlah train data (S1) terdiri dari 70-90 % dari jumlah keseluruhan data, sedangkan sisanya sebesar 10-30 % data digunakan pada kategori data *validation / test* (S2) (Aznarte, et al., 2007).

3.2 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data digunakan model *intelligence algorithm* (ANFIS) untuk mengestimasi hubungan antara *input* (S1) dan *output* (S2).

3.2.1 Estimasi Hubungan Antara *Input* dengan *Output*

Pada proses penentuan hubungan *input-output* digunakan metode ANFIS dengan penjelasan sebagai berikut :

1. menentukan *membership function* dan *inference methods*
2. *train and evaluate* data (S1 dan S2), langkah ini dilakukan kembali dengan *membership function* dan *inference methods* yang berbeda
3. dilakukan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dari algoritma ANFIS. Jika nilai $MAPE \leq 0.35$ maka analisis data dapat dilanjutkan ke fase berikutnya, namun apabila nilai $MAPE \geq 0.35$ maka diperlukan tambahan data kuisisioner (Azadeh, et al., 2014).
4. pilih model ANFIS dengan nilai MAPE yang paling minimum

3.2.2 Perhitungan *Output* Data

Perhitungan *output data* dapat dilakukan dengan menjalankan program atau *running* algoritma ANFIS untuk seluruh operator dan selanjutnya dilakukan perhitungan *output* masing-masing operator. Pemilihan model ANFIS yang digunakan berdasarkan nilai MAPE yang paling minimum.

3.2.3 Penilaian Tingkat Efisiensi Operator

Hasil nilai atau skor efisiensi operator yang berhubungan dengan HSEE dan *job security* didapatkan dari *output* data model ANFIS. Nilai efisiensi memiliki rentang antara 0-1, jika terdapat operator dengan nilai efisiensi satu (1) maka perlu dilakukan langkah koreksi (Azadeh, et al., 2007).

3.2.4 *Plot* Data dan Koreksi terhadap *Outlier Operators*

Data efisiensi operator diasumsikan mengikuti probabilitas normal, sehingga digunakan metode berbasis grafis yaitu *normal probability plot* untuk menguji faktor *normality* dan mengidentifikasi titik atau nilai yang tidak sesuai dengan distribusi normal. Semakin jauh posisi data atau titik dari garis tersebut maka semakin besar indikasi penyimpangan dari faktor *normality* (Azadeh, et al., 2014).

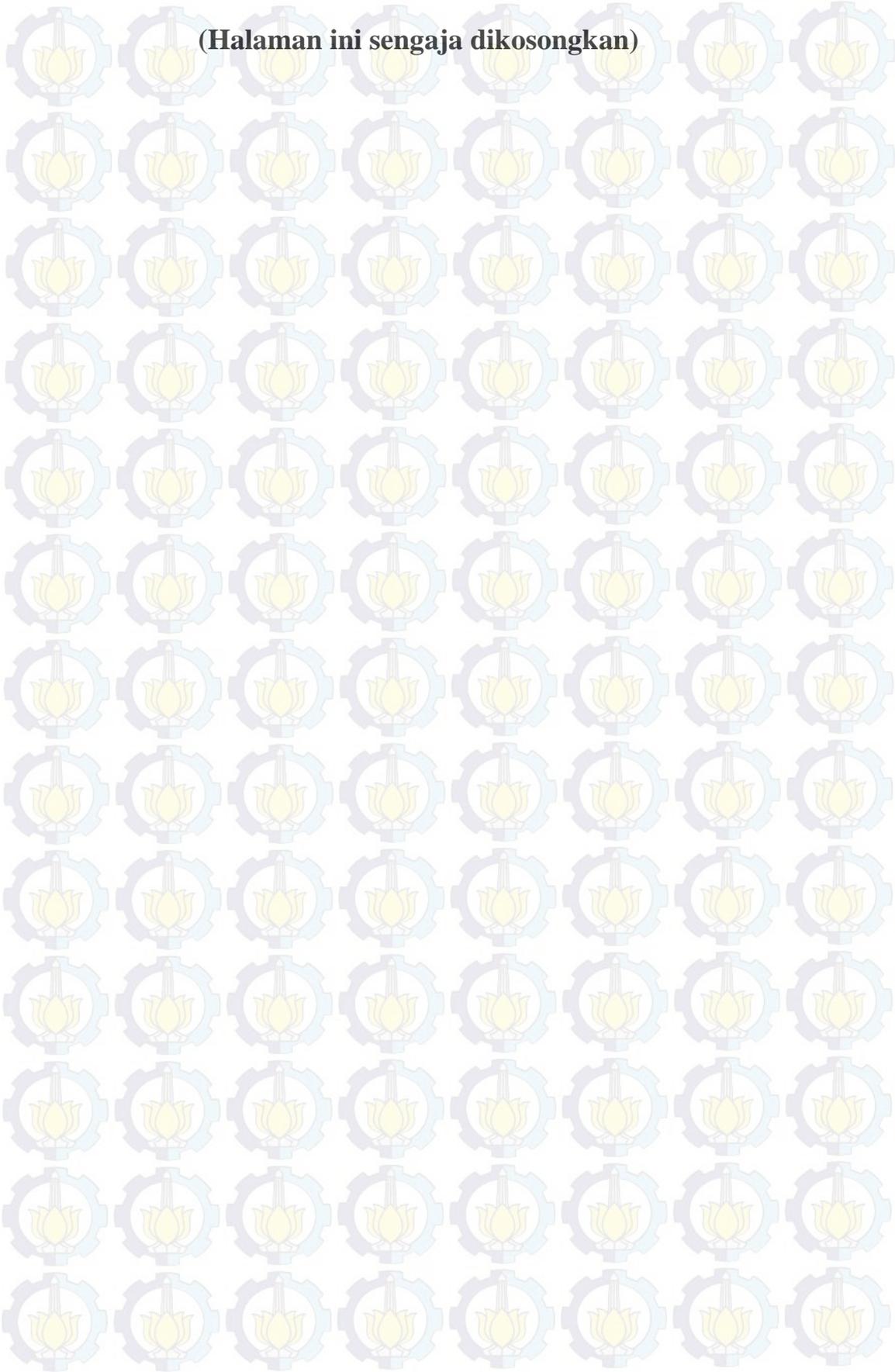
3.3 Tahap Analisis dan Interpretasi Data

Pada tahap ini dilakukan analisis berdasarkan data hasil kuisioner (HSEE dan *job security*) yang telah dilakukan perhitungan efisiensi operator. Apabila dalam data tersebut terdapat data *outlier operators* maka dapat dilakukan analisis mengenai faktor yang menyebabkan data *outlier* dan langkah atau tindakan yang dapat dilakukan untuk memperbaikinya.

3.4 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini terdapat kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan serta saran perbaikan yang mungkin dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan dan saran yang dijelaskan pada tahap ini meliputi aspek perancangan kuesioner dan hasil pengolahan data dengan ANFIS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai tahap perancangan kuesioner, dan pengumpulan data di objek penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan metode ANFIS dan dijelaskan hasil perhitungannya.

4.1 Perancangan Kuesioner

Menurut Sugiyono (2011) kuesioner adalah daftar pertanyaan tertulis kepada responden untuk diberikan jawaban. Penggunaan kuesioner juga dilakukan untuk mendapatkan data primer, dimana data tersebut diperoleh dari narasumber langsung atau tidak melalui perantara. Data primer dapat berupa penilaian dari individual / kelompok, observasi terhadap suatu benda / aktifitas, dan hasil pengujian. Menurut Arikunto (2006) prosedur penyusunan kuesioner adalah sebagai berikut :

1. Perumusan tujuan yang akan dicapai dalam kuesioner
2. Identifikasi variabel yang akan dijadikan obyek kuesioner
3. Penyusunan sub variabel yang lebih spesifik
4. Penentuan jenis data yang dibutuhkan serta teknik analisis data

Tujuan dari penyusunan kuesioner dalam penelitian ini adalah untuk mengukur atau melakukan penilaian terhadap kondisi keamanan kerja oleh operator. Kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari empat variabel *input* (*health, safety, environment* dan *ergonomics*) serta satu variabel *output* (*job security*) dimana penentuan variabel tersebut mengikuti dari penelitian yang telah dilakukan oleh Azadeh (2014). Masing-masing variabel *input* terdiri dari tiga pertanyaan yang akan diberikan penilaian oleh responden, sedangkan pada variabel *output* hanya terdiri dari satu pertanyaan. Jenis data yang dibutuhkan adalah data kuantitatif berupa penilaian dari seluruh operator dan selanjutnya akan dilakukan pengolahan data dengan metode ANFIS.

Pada tabel 4.1 akan ditampilkan daftar pertanyaan yang terdapat dalam kuesioner untuk kategori *health* :

Tabel 4.1 Daftar Pertanyaan untuk Kategori *Health* pada Kuesioner

No	Kategori	Pertanyaan
1	<i>Health</i>	Apakah menurut anda durasi istirahat yang disediakan cukup memadai?
2		Apakah terdapat petugas kesehatan dan fasilitas medis di area kerja?
3		Apakah fasilitas kerja dilakukan perawatan kebersihan secara berkala?

Pertanyaan dalam kategori *health* disusun untuk mendapatkan penilaian dari responden mengenai waktu istirahat yang diberikan oleh perusahaan, fasilitas kesehatan yang tersedia dan pelaksanaan perawatan kebersihan di area kerja. Pada tabel 4.2 akan ditampilkan daftar pertanyaan yang terdapat dalam kuesioner untuk kategori *safety* :

Tabel 4.2 Daftar Pertanyaan untuk Kategori *Safety* pada Kuesioner

No	Kategori	Pertanyaan
4	<i>Safety</i>	Apakah terdapat potensi ledakan atau nyala api di dalam area kerja?
5		Apakah terdapat pengaturan mengenai penggunaan alat pelindung diri (APD) di area kerja?
6		Apakah terdapat pelatihan mengenai aturan keselamatan kerja?

Pertanyaan dalam kategori *safety* disusun untuk mendapatkan penilaian dari responden mengenai tingkat bahaya dari bahan baku dan proses produksi, penggunaan APD di area kerja serta pelatihan atau sosialisasi keselamatan kerja oleh perusahaan terhadap operator. Pada tabel 4.3 akan ditampilkan daftar pertanyaan yang terdapat dalam kuesioner untuk kategori *environment* :

Tabel 4.3 Daftar Pertanyaan untuk Kategori *Environment* pada Kuesioner

No	Kategori	Pertanyaan
7	<i>Environment</i>	Apakah fasilitas penerangan di area kerja telah sesuai dengan kebutuhan?
8		Apakah anda merasa nyaman dengan suhu udara di area kerja untuk menjalankan aktifitas pekerjaan?
9		Apakah anda merasa terganggu dengan sumber suara / penyebab kebisingan di area kerja?

Pertanyaan dalam kategori *environment* disusun untuk mendapatkan penilaian dari responden mengenai *physical factor* dan *environmental features* (pencahayaannya, suhu udara dan kebisingan). Pada tabel 4.4 akan ditampilkan daftar pertanyaan yang terdapat dalam kuesioner untuk kategori *ergonomics* :

Tabel 4.4 Daftar Pertanyaan untuk Kategori *Ergonomics* pada Kuesioner

No	Kategori	Pertanyaan
10	<i>Ergonomics</i>	Apakah terdapat area yang cukup untuk bergerak / berpindah antar stasiun kerja?
11		Apakah fasilitas di ruang kerja (kursi, meja, dll) dapat diatur sesuai dengan postur tubuh?
12		Apakah anda merasa tidak nyaman / sakit di bagian punggung setelah melakukan aktifitas kerja?

Pertanyaan dalam kategori *ergonomics* disusun untuk mendapatkan penilaian dari responden mengenai *layout feature*, *anthropometric feature*, dan *muscular and skeletal disorders*. Pada variabel *output* hanya terdapat satu pertanyaan yang diberikan kepada reponden mengenai evaluasi kondisi keamanan kerja untuk kondisi saat ini atau *existing conditions*. Contoh kuesioner yang digunakan dalam penelitian ini dapat diketahui dalam lampiran.

Atribut dalam kuesioner terdiri dari dua kategori, yaitu jenis pertanyaan dan pilihan jawaban yang tersedia. Pada penelitian kuantitatif maka jenis pertanyaan dirancang untuk cepat dan mudah dijawab oleh responden serta bersifat tertutup. Daftar pertanyaan disusun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan

oleh Azadeh (2014), observasi yang dilakukan di obyek penelitian, serta *checklist* yang telah dibuat dalam kegiatan perkuliahan aplikasi ergonomi.

Menurut Sekaran dalam Budiono (2013) jika alternatif skala jawaban terlalu sedikit maka tidak dapat menangkap banyak informasi dari responden, sedangkan peningkatan alternatif skala jawaban dari lima hingga sembilan tidak akan meningkatkan reliabilitas. Alternatif jawaban yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti penelitian dari Azadeh (2014), sebagai berikut :

1 = Sangat Tidak Sesuai

2 = Tidak Sesuai

3 = Sesuai

4 = Sangat Sesuai

4.2 Pengumpulan Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah operator yang bekerja di rantai produksi PT Dempo Laser Metalindo. Data dikumpulkan berdasarkan penyebaran kuesioner yang telah dilakukan terhadap operator. Menurut Gay dan Diehl (1992) ukuran sampel yang dapat diterima akan sangat bergantung pada jenis penelitian, diantaranya adalah :

1. Penelitian bersifat deskriptif, maka jumlah sampel minimum adalah 10% dari populasi
2. Penelitian bersifat korelasional, maka jumlah sampel minimum adalah 30 subjek
3. Penelitian bersifat kausal perbandingan, maka jumlah sampel minimum adalah 30 subjek per grup
4. Penelitian bersifat eksperimental, maka jumlah sampel minimum adalah 15 subjek per grup

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui kondisi keamanan kerja berdasarkan penilaian oleh operator di unit produksi. Dalam proses penilaian tersebut juga mempertimbangkan empat faktor yaitu *health, safety, environment,* dan *ergonomics*. Jumlah kuesioner yang diisi oleh responden sebanyak 30 data, hasil kuesioner yang disebarakan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.5 Rekap Data Kuesioner Penilaian Keamanan Kerja

Operator Code	Input				Job Security
	Health	Safety	Environment	Ergonomics	
1	2,67	2,67	3,00	3,33	3,00
2	3,00	3,00	3,00	2,67	4,00
3	3,00	2,67	3,00	3,00	3,00
4	3,00	2,67	3,00	2,67	4,00
5	2,67	2,67	2,67	2,67	3,00
6	2,33	2,67	2,33	2,67	2,00
7	2,67	3,00	3,00	3,00	4,00
8	2,33	2,33	2,67	2,67	2,00
9	2,67	3,00	3,00	3,00	4,00
10	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
11	3,33	2,67	3,00	3,00	4,00
12	2,67	2,33	2,33	2,33	2,00
13	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00
14	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00
15	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
16	3,00	2,67	2,67	2,67	3,00
17	3,00	2,67	3,00	2,67	3,00
18	2,67	2,67	2,67	3,00	3,00
19	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
20	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
21	2,67	2,67	3,00	3,00	3,00
22	2,67	3,00	3,00	3,33	4,00
23	3,00	3,00	3,33	3,00	4,00
24	3,00	2,67	2,67	2,67	3,00
25	2,33	2,33	2,33	2,67	2,00
26	2,67	2,67	2,67	3,00	3,00
27	3,00	2,67	2,67	3,00	3,00
28	3,00	2,67	2,67	2,67	3,00
29	2,33	2,67	2,67	2,33	2,00
30	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00

Pada tabel 4.1, nilai untuk tiap variabel *input* merupakan nilai rata-rata yang didapatkan dari tiga pertanyaan dalam kategori tersebut. Selanjutnya dilakukan uji validitas dan reliabilitas berdasarkan hasil kuesioner, dalam pengujian ini dilakukan dengan bantuan *software* IBM SPSS 18.

4.1.1 Uji Validitas

Menurut Cooper dan Schindler dalam Zulganef (2006) validitas merupakan suatu ukuran yang menunjukkan bahwa variabel yang diukur sesuai dengan variabel yang hendak diteliti oleh peneliti. Dalam uji validitas digunakan metode analisis faktor, dimana metode ini merupakan salah satu

teknik *statistic multivariate*. Pada gambar 4.1 dan 4.2 akan ditampilkan hasil uji validitas berdasarkan rekap data kuisioner yang telah didapatkan :

KMO and Bartlett's Test						
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.						,714
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square				22,641	
	df				6	
	Sig.				,001	

Anti-image Matrices						
		Health	Safety	Environment	Ergonomics	
Anti-image Covariance	Health	,720	-,024	-,258	-,096	
	Safety	-,024	,702	-,250	-,138	
	Environment	-,258	-,250	,571	-,124	
	Ergonomics	-,096	-,138	-,124	,806	
Anti-image Correlation	Health	,719 ^a	-,033	-,402	-,126	
	Safety	-,033	,721 ^a	-,394	-,184	
	Environment	-,402	-,394	,662 ^a	-,182	
	Ergonomics	-,126	-,184	-,182	,816 ^a	

a. Measures of Sampling Adequacy(MSA)

Gambar 4.1 Uji Validitas dengan Menggunakan Metode Analisis Faktor

Menurut Santoso (2006) nilai korelasi antar variabel independen dalam analisis faktor harus $> 0,5$ dengan signifikansi $< 0,05$. Jika nilai MSA ($> 0,5$) maka variabel masih dapat diprediksi dan dapat dilakukan analisis lanjutan (Santoso, 2006). Pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai *Kaiser-Meyer-Olkin Measure* (KMO) adalah 0,714 sedangkan nilai MSA untuk variabel *health* (0,719), *safety* (0,721), *environment* (0,662), dan *ergonomics* (0,816). Berdasarkan nilai KMO dan MSA tersebut maka dapat dikatakan bahwa instrumen kuesioner tersebut memiliki validitas yang tinggi.

4.1.2 Uji Reliabilitas

Menurut Harrison dalam Zulfanef (2006) reliabilitas adalah ukuran yang menunjukkan bahwa alat ukur yang digunakan dalam penelitian memiliki keandalan sebagai alat ukur. Hal ini dapat diketahui berdasarkan konsistensi hasil pengukuran dari waktu ke waktu dengan variabel penelitian yang tidak berubah. Dalam uji reliabilitas digunakan metode *Cronbach Alpha*, pada

gambar 4.2 akan ditampilkan hasil uji reliabilitas berdasarkan rekap data kuisioner yang telah didapatkan :

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
,725	4

Item-Total Statistics				
	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Health	8,4033	,302	,485	,682
Safety	8,4030	,325	,507	,669
Environment	8,3590	,276	,639	,586
Ergonomics	8,3477	,319	,437	,709

Gambar 4.2 Uji Reliabilitas dengan Menggunakan Metode *Cronbach Alpha*

Menurut Sekaran dalam Zulganef (2006) menyatakan bahwa suatu instrumen penelitian dapat dikatakan memiliki reliabilitas yang memadai jika nilai koefisien *Cronbach Alpha* lebih dari atau sama dengan 0,70. Pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa nilai *Cronbach Alpha* adalah 0,725 sehingga dapat dikatakan instrumen penelitian tersebut memiliki reliabilitas yang tinggi.

4.2 Penentuan *Train Data* (S1) dan *Test Data* (S2)

Data kuesioner yang telah dikumpulkan selanjutnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu *training data* (S1) dan *test / validation data* (S2). Menurut Azadeh (2014) pemilihan data validasi harus dapat merepresentasikan hasil penilaian yang didapatkan dari kuesioner. Data kuesioner diurutkan berdasarkan nilai *output variable*, selanjutnya data tersebut dibagi menjadi beberapa bagian dan data validasi dipilih secara acak dari masing-masing bagian tersebut.

Pada umumnya jumlah train data (S1) terdiri dari 70-90 % dari jumlah keseluruhan data, sedangkan sisanya sebesar 10-30 % data digunakan pada kategori data *validation / test* (S2) (Aznarte, et al., 2007). Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data kuesioner dengan melibatkan 30 responden. Jumlah data yang

digunakan sebagai *training data* (S1) sebanyak 27 data (90%) dan *validation data* sebanyak 3 data (10%). Pada tabel 4.2 akan ditampilkan hasil pemilihan *validation / test data* (S2) :

Tabel 4.6 Data Validasi (S2)

Operator Code	Input				Job Security
	Health	Safety	Environment	Ergonomics	
5	2,67	2,67	2,67	2,67	3,00
10	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
21	2,67	2,67	3,00	3,00	3,00

Pada tabel 4.2 telah dipilih secara acak sejumlah 3 data sebagai data validasi (S2) sehingga ketiga data tersebut tidak dapat digunakan kembali dalam *train data* (S1). Pada tabel 4.3 akan ditampilkan *training data* (S1) :

Tabel 4.7 Training Data (S1)

Operator Code	Input				Job Security
	Health	Safety	Environment	Ergonomics	
1	2,67	2,67	3,00	3,33	3,00
2	3,00	3,00	3,00	2,67	4,00
3	3,00	2,67	3,00	3,00	3,00
4	3,00	3,00	3,00	2,67	4,00
6	2,33	2,67	2,33	2,67	2,00
7	2,67	3,00	3,00	3,00	4,00
8	2,33	2,33	2,67	2,67	2,00
9	2,67	3,00	3,00	3,00	4,00
11	3,33	2,67	3,00	3,00	4,00
12	2,67	2,33	2,33	2,33	2,00
13	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00
14	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00
15	2,67	3,00	3,00	2,67	3,00
16	3,00	2,67	2,67	2,67	3,00
17	3,00	2,67	3,00	2,67	3,00

Tabel 4.7 *Training Data* (lanjutan)

Operator Code	Input				Job Security
	Health	Safety	Environment	Ergonomics	
18	2,67	2,67	2,67	3,00	3,00
19	2,67	3,00	3,00	2,67	3,00
20	2,67	2,67	3,00	2,67	3,00
22	3,00	3,00	3,00	3,33	4,00
23	3,00	3,00	3,33	3,00	4,00
24	3,00	3,00	2,67	2,67	3,00
25	2,33	2,33	2,33	2,67	2,00
26	2,67	2,67	2,67	3,00	3,00
27	3,00	2,67	2,67	3,00	3,00
28	3,00	2,67	2,67	2,67	3,00
29	2,33	2,67	2,67	2,33	2,00
30	2,67	3,00	2,67	3,00	3,00

4.3 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini digunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang akan menghasilkan struktur *Fuzzy Inference System* (FIS) tipe Sugeno. Struktur tersebut dapat dihasilkan dengan teknik *subtractive clustering* serta *input* dan *output* data hasil kuisisioner. Metode ANFIS juga akan menjalankan aturan atau fungsi yang akan memodelkan perilaku data.

4.3.1 Estimasi Hubungan *Input* dengan *Output*

Hubungan *input* dengan *output* pada model ANFIS berdasarkan aturan *membership function* dan *inference method*. Menurut Azadeh (2014) *membership function* (MF) adalah suatu kurva yang mendefinisikan bagaimana setiap titik dalam *input space* dapat dipetakan menjadi *membership value* (*degree of membership*) yang memiliki nilai antara 0 dan 1. Dalam penelitian ini digunakan aturan *membership function input* dengan jenis Gaussian dan jenis linear untuk *membership function output*. Pada tabel 4.5 dapat diketahui jenis *inference method* yang digunakan dalam penelitian ini :

Tabel 4.8 Jenis *Inference Method* dan Aturan Probabilitas

<i>Inference method</i>	<i>Type</i>
<i>AND (T-norm, intersection)</i>	<i>Min (minimum), Prod (Product)</i>
<i>OR (S-norm, Union)</i>	<i>Max (maximum), Probor (Probabilistic OR)</i>
<i>Implication</i>	<i>Prod, Min</i>
<i>Aggregation</i>	<i>Max, Sum, Probor</i>

Untuk mendapatkan struktur ANFIS yang terbaik (nilai MAPE paling minimum) maka dalam penelitian ini digunakan 24 model dimana masing-masing model memiliki aturan probabilitas yang berbeda. Seluruh model tersebut akan dilakukan pengujian sehingga dihasilkan model yang optimum untuk *output data job security*. Pada tabel 4.6 akan ditunjukkan nilai MAPE dari tiap model ANFIS berdasarkan *input training data (S1)* :

Tabel 4.9 Nilai Minimum MAPE dari 24 Model yang Berbeda

Arsitektur ANFIS						
<i>Number</i>	<i>AND method</i>	<i>OR method</i>	<i>Implication</i>	<i>Aggregation</i>	<i>Minimum MAPE</i>	<i>r</i>
1	prod	max	min	max	0,00239	0,85
2	prod	probor	min	max	0,00239	0,85
3	min	max	prod	max	0,00096	0,86
4	min	max	min	max	0,00096	0,86
5	min	probor	min	max	0,00096	0,86
6	prod	max	prod	max	0,00239	0,85
7	min	probor	prod	max	0,00096	0,86
8	prod	probor	prod	max	0,00239	0,85
9	min	max	min	sum	0,00096	0,86
10	min	probor	min	sum	0,00096	0,86
11	min	max	prod	sum	0,00096	0,86
12	prod	max	min	sum	0,00239	0,85
13	prod	probor	min	sum	0,00239	0,85
14	prod	max	prod	sum	0,00239	0,85
15	min	probor	prod	sum	0,00096	0,86
16	prod	probor	prod	sum	0,00239	0,85
17	min	max	min	probor	0,00096	0,86
18	min	probor	min	probor	0,00096	0,86
19	min	max	prod	probor	0,00096	0,86
20	prod	max	min	probor	0,00239	0,85
21	prod	probor	min	probor	0,00239	0,85
22	prod	max	prod	probor	0,00239	0,85
23	min	probor	prod	probor	0,00096	0,86
24	prod	probor	prod	probor	0,00239	0,85

Berdasarkan tabel 4.6 dapat diketahui bahwa terdapat beberapa model yang memiliki nilai minimum MAPE yang sama, hal tersebut dapat muncul apabila jumlah *train* data (*S1*) lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah parameter yang mampu dijalankan oleh model ANFIS. Untuk perhitungan nilai *output* dari ANFIS dapat dipilih salah satu model yang memiliki nilai MAPE paling minimum (0,00096) dengan nilai *r* (0,86).

4.3.2 Perhitungan *Output* Data

Model ANFIS dengan nilai MAPE paling minimum akan digunakan dalam perhitungan *output* data (*job security*) untuk masing-masing operator. Pada gambar 4.4 berikut dapat diketahui mengenai perbedaan hasil nilai dengan perhitungan model ANFIS dan *output* data kuisisioner :



Gambar 4.3 Perbandingan *Output* Data (ANFIS) dengan *Output* Data kuisisioner

Pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa perbedaan hasil perhitungan *output* data model ANFIS dengan *output* data aktual (kuisisioner) relatif kecil. Sehingga model ANFIS tersebut mampu merepresentasikan data dalam kondisi yang sebenarnya / *existing conditions*.

4.3.3 Penilaian Tingkat Efisiensi Operator

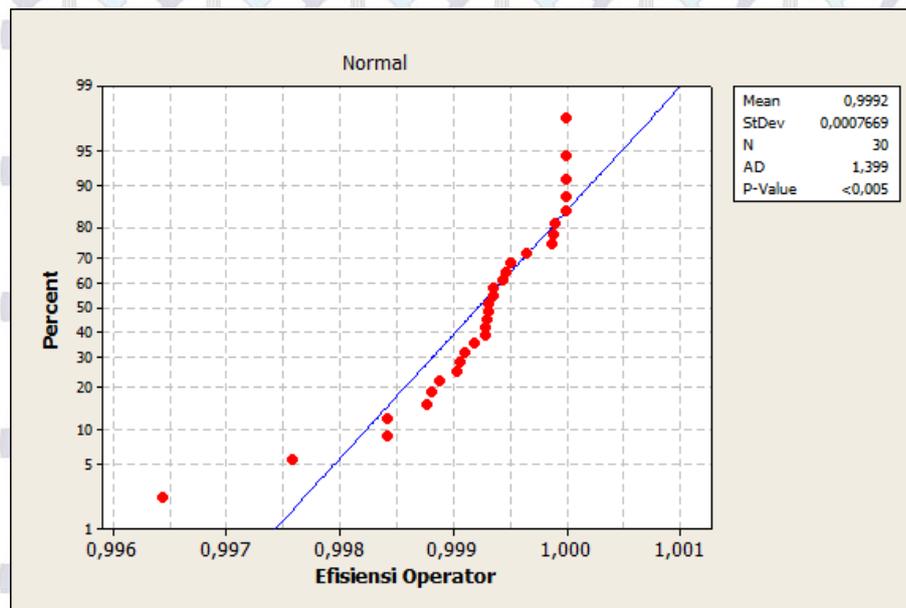
Perhitungan tingkat efisiensi operator dibutuhkan untuk mengevaluasi kondisi keamanan kerja (*job security*) yang ada saat ini. Berdasarkan model ANFIS dengan nilai MAPE paling minimum maka model tersebut juga digunakan dalam perhitungan efisiensi masing-masing operator. Pada tabel 4.7 berikut dapat diketahui nilai *output* data kuisisioner, *output* data model ANFIS dan tingkat efisiensinya :

Tabel 4.10 Estimasi Nilai Efisiensi Operator untuk *Output Job Security*

Op. Code	Output ANFIS	Output Kuesioner	Efficiency
1	3,0009	3,00	1,0000
2	4,0003	4,00	1,0000
3	2,9998	3,00	1,0000
4	4,0003	4,00	0,9999
5	2,9925	3,00	1,0000
6	2,0009	2,00	0,9964
7	3,9985	4,00	0,9991
8	2,0002	2,00	0,9976
9	3,9985	4,00	0,9993
10	3,0010	3,00	0,9984
11	3,9940	4,00	0,9993
12	2,0000	2,00	0,9984
13	3,0007	3,00	0,9988
14	3,0007	3,00	0,9989
15	3,0002	3,00	0,9991
16	3,0001	3,00	0,9992
17	2,9993	3,00	0,9995
18	2,9983	3,00	0,9999
19	3,0002	3,00	0,9993
20	3,0010	3,00	0,9990
21	2,9998	3,00	0,9995
22	3,9997	4,00	0,9996
23	4,0012	4,00	0,9993
24	2,9998	3,00	0,9999
25	1,9999	2,00	0,9993
26	2,9983	3,00	1,0000
27	3,0021	3,00	0,9988
28	3,0001	3,00	0,9994
29	1,9998	2,00	0,9994
30	3,0007	3,00	0,9993

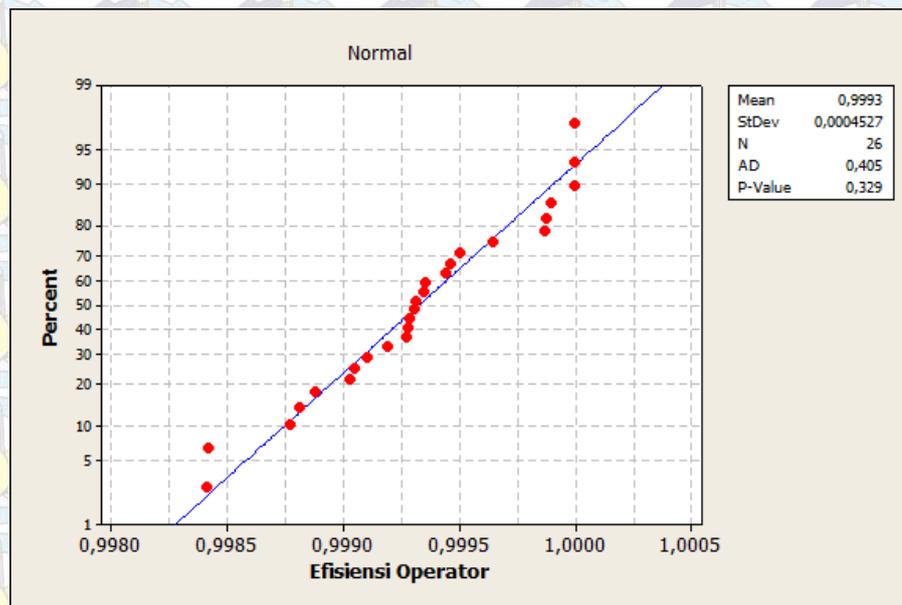
4.3.4 Plot Data dan Perbaikan terhadap *Outlier Operators*

Normal probability plot adalah suatu metode grafis yang digunakan untuk uji normalitas data dan identifikasi data yang tidak sesuai dengan pola distribusi normal atau *outlier operators*. Hasil penilaian tingkat efisiensi seluruh operator selanjutnya dilakukan uji normalitas dengan metode *Anderson-Darling*. Pada gambar 4.4 berikut ditampilkan hasil uji normalitas data untuk seluruh operator :



Gambar 4.4 *Normal Probability Plot* untuk Nilai Efisiensi Operator

Pada gambar 4.4 dapat diketahui nilai *p-value* kurang dari 0,005 sehingga hipotesis normalitas data ditolak (tidak sesuai dengan pola distribusi normal). Berdasarkan gambar 4.4 maka dapat diidentifikasi *outlier operators* sehingga diperlukan langkah koreksi atau perbaikan. Pada gambar 4.5 berikut ditampilkan hasil uji normalitas data setelah dilakukan langkah perbaikan :



Gambar 4.5 Normal Probability Plot (Perbaikan)

Terdapat 4 data *outlier operators* yang tidak disertakan dalam uji normalitas data (perbaikan), dimana masing-masing operator tersebut diberikan kode OC 5, OC 6, OC 8 dan OC 26. Pada gambar 4.6 dapat diketahui nilai *p-value* yaitu 0,329 ($> 0,05$) sehingga hipotesis normalitas data diterima (sesuai dengan pola distribusi normal).

BAB 5

ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis dan interpretasi hasil pengolahan data dari kuesioner mengenai kondisi keamanan kerja. Analisis yang dilakukan meliputi perancangan kuesioner dan hasil perhitungan model ANFIS.

5.1 Analisis Perancangan Kuesioner

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan kuesioner untuk menilai kondisi keamanan kerja di PT Dempo Laser Metalindo. Kuesioner tersebut terdiri dari empat variabel *input* (*health, safety, environment* dan *ergonomics*), dimana operator akan memberikan penilaian mengenai keamanan kerja atau *job security* dengan mempertimbangkan variabel *input*. Pemilihan variabel kuesioner tersebut berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Azadeh (2014). Menurut Azadeh (2014) penerapan konsep HSEE (*health, safety, environment, dan ergonomics*) membantu perusahaan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan pengurangan pembuangan limbah berbahaya. Jika dilihat dari sudut pandang operator atau pekerja, maka konsep HSEE akan mengoptimalkan efisiensi pekerjaan dan menghindari kecelakaan kerja (Changchit & Holsapple, 2001).

Aspek penampilan kuesioner tidak berhubungan secara langsung dengan penelitian namun hal tersebut perlu diperhatikan untuk menarik minat responden dan bersedia memberikan jawaban. Pengaturan struktur pertanyaan dan jawaban yang tertata rapi dapat mempermudah responden untuk memahami dan menjawab kuesioner. Daftar pertanyaan dalam kuesioner *job security* dikelompokkan berdasarkan variabel *input*. Jenis pertanyaan dalam kuesioner *job security* adalah pertanyaan tertutup dimana dalam penyusunan struktur kalimat menggunakan aturan yang baku untuk menghindari kesalahan pemahaman responden.

Pada variabel *health* terdiri dari tiga pertanyaan diantaranya adalah pengaturan waktu istirahat, ketersediaan tenaga dan peralatan medis, serta perawatan kebersihan di lingkungan kerja. Berdasarkan pengamatan di bagian produksi PT Dempo Laser Metalindo, pada periode Nopember – Desember 2014 volume produksi perusahaan mencapai tingkat yang sangat tinggi. Pertanyaan

mengenai durasi waktu istirahat dimaksudkan untuk menilai apakah operator mendapatkan waktu yang cukup untuk beristirahat / pemulihan setelah melakukan pekerjaan dalam waktu tertentu. Jika volume produksi tinggi dan dengan intensitas pekerjaan yang sangat tinggi maka kurangnya waktu istirahat dapat menjadi salah satu faktor penurunan tingkat keamanan kerja.

Pada variabel *safety* terdiri dari tiga pertanyaan diantaranya adalah potensi ledakan atau nyala api, peraturan penggunaan APD, serta pelatihan keselamatan kerja. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di unit produksi PT Dempo Laser Metalindo dapat diketahui bahwa terdapat cukup banyak bahan baku dan proses produksi yang berpotensi untuk menimbulkan nyala api dan ledakan. Pertanyaan mengenai potensi ledakan atau nyala api disusun untuk mengetahui penilaian operator mengenai kondisi di area kerja serta faktor resikonya. Pada kondisi area kerja yang beresiko terbakar atau terjadi ledakan maka pemahaman operator mengenai standar keselamatan kerja dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dapat meningkatkan faktor keamanan kerja.

Pada variabel *environment* terdiri dari tiga pertanyaan diantaranya adalah pencahayaan di fasilitas kerja, suhu udara di area kerja, serta sumber kebisingan. Gangguan kebisingan pada umumnya muncul sebagai akibat dari kegiatan operasional, dimana dalam hal ini operator akan merasakan dampak langsung selama proses produksi di PT Dempo Laser Metalindo. Pertanyaan mengenai tingkat kebisingan di area kerja disusun untuk mengetahui apakah gangguan kebisingan mempengaruhi aktifitas kerja operator dan tingkat keamanan kerja. Tingkat kebisingan lebih dari ambang batas dan dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada operator dan terdapat kemungkinan terjadi penurunan tingkat keamanan kerja.

Pada variabel *ergonomics* terdiri dari tiga pertanyaan diantaranya adalah ketersediaan akses untuk perpindahan antar stasiun kerja, fasilitas kerja yang dapat disesuaikan dengan postur tubuh serta keluhan sakit di bagian punggung setelah aktifitas kerja. Keluhan sakit / nyeri di bagian punggung dapat terjadi apabila operator melakukan aktifitas pekerjaan yang tidak aman. Peningkatan jumlah operator yang mengalami sakit / nyeri di bagian punggung dapat mengindikasikan bahwa terdapat penurunan tingkat keamanan kerja di perusahaan tersebut.

Evaluasi penyusunan kuesioner dapat ditinjau dari aspek penyusunan pertanyaan dimana perlu dihindari penggunaan bahasa sehari-hari dan istilah teknik yang sulit dipahami oleh responden. Jenis pertanyaan yang tidak dapat digunakan dalam kuesioner adalah pertanyaan hipotesis dan pertanyaan yang memalukan / bersifat pribadi. Dalam kuesioner juga dapat ditemukan pertanyaan yang memaksa responden untuk memilih jawaban tertentu, kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh pilihan jawaban yang mengarah pada nilai tertentu (hebat, sempurna, agung, sangat baik). Faktor responden juga dapat dimungkinkan terjadi kesalahan, dimana hal ini disebut dengan *prestige bias* yaitu suatu kecenderungan responden akan memberikan penilaian yang membuat mereka merasa lebih baik.

Alternatif jawaban yang tersedia bersifat *mutually exclusive* dan *exhaustive* dimana seluruh jawaban memenuhi kriteria untuk responden dan menghindari adanya jawaban ganda dalam satu pertanyaan. Masing-masing pilihan jawaban juga dilengkapi dengan deskripsi penilaian sehingga responden mampu memahami dasar penilaian yang diberikan. Item jawaban yang disusun dalam kuesioner *job security* disesuaikan dengan ukuran variabel yang akan diteliti. Jika skala data yang diteliti adalah skala nominal maka pilihan jawabannya juga dalam bentuk skala nominal, hal ini berlaku untuk penyusunan dengan skala lainnya (ordinal dan interval).

Uji validitas diperlukan dalam perancangan kuesioner dimana kuesioner tersebut belum pernah digunakan sebelumnya. Kuesioner dapat dikatakan valid apabila mampu memberikan *output* atau hasil sesuai dengan tujuan penelitian. Berdasarkan uji validitas yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai *Kaiser-Meyer-Olkin Measure* (KMO) adalah 0,714 sehingga dapat dikatakan data tersebut layak untuk dilakukan uji analisis faktor. Selanjutnya dilakukan pengujian korelasi *multivariat* (*Bartlett's Test*), diketahui bahwa nilai Sig adalah 0,001 dimana nilai tersebut lebih kecil dari nilai alpha ($<0,05$) sehingga dapat disimpulkan terdapat korelasi antar *variabel multivariat*. Korelasi antar *variabel multivariat* dapat diketahui melalui nilai *Measure of Sampling Adequacy* (MSA) pada kolom *output anti image correlation*. Menurut Santoso (2006) jika nilai MSA $> 0,5$ maka variabel masih dapat diprediksi dan bisa dilakukan analisis lebih lanjut. Berdasarkan uji validitas yang telah dilakukan, maka dapat diketahui nilai MSA untuk variabel

health (0,719), variabel *safety* (0,721), variabel *environment* (0,662) dan variabel *ergonomics* (0,816). Sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel dapat dilakukan analisis lebih lanjut.

Uji reliabilitas dibutuhkan untuk mengetahui bahwa instrumen kuesioner mampu mendapatkan hasil yang konsisten walaupun digunakan pada waktu yang berbeda. Berdasarkan hasil pengujian reliabilitas yang telah dilakukan maka dapat diketahui nilai *Cronbach Alpha* adalah 0,725. Secara umum jika didapatkan nilai *Cronbach Alpha* lebih dari 0,6 maka dapat dikatakan bahwa *item* dalam kuesioner dapat diandalkan (*reliable*) untuk mengukur variabel penelitian.

5.2 Analisis Hasil Penilaian Kuesioner

Hasil kuesioner untuk pertanyaan waktu istirahat (A1) dapat diketahui bahwa 67 % responden menjawab diberikan waktu antara 30 – 60 menit, sedangkan 33 % responden menjawab waktu yang diberikan lebih dari 60 menit. Dengan demikian seluruh responden mendapatkan waktu istirahat minimum selama 30 menit sehingga perusahaan telah mengikuti aturan ketersediaan waktu istirahat bagi pekerja sesuai dengan UU No 13 Tahun 2003 tentang ketenagakerjaan. Waktu istirahat yang diberikan juga mendukung faktor keamanan kerja karena operator dapat melaksanakan aktifitas kerja dalam kondisi yang sehat / tidak letih. Operator juga memiliki kemampuan untuk menyelesaikan tugas pekerjaan dengan tingkat ketelitian yang tinggi sesuai dengan proses produksi di PT Dempo Laser Metalindo. Hasil kuesioner untuk pertanyaan ketersediaan tenaga dan alat medis (A2) dapat diketahui bahwa 56 % responden menjawab bahwa alat kesehatan yang tersedia di area kerja hanya untuk perawatan ringan dan dibutuhkan tenaga medis sedangkan 44% responden menjawab bahwa terdapat ketersediaan alat kesehatan cukup memadai. Secara umum kasus cedera yang ditemui di area kerja berada dalam tingkat yang cukup ringan yaitu tangan tergores material atau sisa bahan baku. Namun jika terjadi kasus cedera yang lebih berat maka perusahaan tidak memiliki ruang atau alat yang mampu untuk digunakan untuk melakukan perawatan awal sebelum dibawa ke rumah sakit. Selain itu penempatan kotak P3K kurang terjangkau dan jauh dari lantai produksi dimana kotak tersebut diletakkan di bagian dalam kantor. Hasil penilaian mengenai frekuensi perawatan kebersihan di area

kerja (A3) dapat diketahui terdapat 53 % responden menjawab bahwa perawatan kebersihan di area kerja dilakukan dua kali setiap bulan sedangkan 47% responden menjawab bahwa perawatan kebersihan di area kerja dilakukan dua hingga tiga kali setiap minggu. Perbedaan hasil yang ditemukan dapat disebabkan karena pada stasiun kerja tertentu (*cutting, punching*) terdapat banyak sisa bahan baku produksi (*scrap*) sehingga lebih sering dibersihkan agar tidak mengganggu aktifitas produksi. Kebijakan perusahaan yang saat ini diterapkan mengenai perawatan kebersihan seluruh unit produksi dilakukan satu kali setiap bulan.

Hasil kuesioner untuk pertanyaan potensi nyala api dan ledakan (B1) dapat diketahui bahwa 60% responden menjawab di dalam area kerja tingkat resiko terjadinya nyala api cukup tinggi sedangkan 40 % responden menjawab kondisi area kerja relatif aman namun jika diperlukan tindakan evakuasi membutuhkan waktu yang lama. Potensi nyala api di area kerja dapat terjadi pada proses pemotongan logam, pengelasan, dan pelapisan logam atau *coating*. Pada proses pengelasan dan pelapisan logam juga melibatkan bahan baku yang mudah terbakar. Proses evakuasi yang cukup lama dapat disebabkan karena di dalam area kerja terdapat banyak tumpukan bahan baku, material yang sedang diproses (WIP), dan peralatan kerja sehingga menutup akses menuju lokasi yang lebih aman. Hasil kuesioner untuk penggunaan APD (B2) dapat diketahui bahwa 60% responden menjawab telah menggunakan APD sedangkan 40 % responden menjawab telah menggunakan APD dan mengikuti pelatihan cara penggunaannya. Untuk mendapatkan fungsi perlindungan yang maksimal maka APD harus digunakan dengan tepat serta penerapan sanksi jika operator tidak menggunakan APD. Hasil kuesioner untuk pelatihan aturan keselamatan kerja (B3) dapat diketahui bahwa 63% responden menjawab telah mendapat pelatihan satu kali dan hanya diterapkan sebagian sedangkan 37 % responden menjawab bahwa telah mengikuti pelatihan dua kali dan telah dilakukan evaluasi. Pelaksanaan pelatihan standar keselamatan kerja dapat efektif apabila dilakukan lebih dari satu kali setiap tahun, sehingga diharapkan operator benar-benar memahami aspek keselamatan kerja. Kegiatan tersebut juga perlu dilakukan evaluasi untuk mendapatkan gambaran hasil pelatihan yang telah dicapai.

Hasil kuesioner untuk pertanyaan fasilitas penerangan di area kerja (C1) dapat diketahui terdapat 60 % responden yang menjawab bahwa kondisi area kerja sudah sesuai (tidak terlalu gelap) sedangkan 40 % responden lainnya menjawab bahwa fasilitas penerangan sudah sangat sesuai. Intensitas cahaya berperan dalam faktor keamanan kerja dimana jika operator bekerja dalam area yang terlalu gelap atau terang maka dapat menyebabkan kondisi fisik yang cepat lelah. Faktor kelelahan tersebut menyebabkan operator dapat mengalami kecelakaan kerja. Hasil kuesioner untuk pertanyaan suhu udara di area kerja (C2) dapat diketahui terdapat 46 % responden yang menjawab bahwa kondisi suhu udara cukup panas sehingga mengganggu aktifitas kerja sedangkan 54 % responden lainnya menjawab suhu udara sudah sesuai dan aktifitas kerja berjalan normal. Suhu udara yang terlalu panas dapat meningkatkan resiko operator yang sedang bekerja dengan bahan baku yang rentan terbakar atau meledak. Perbaikan pengaturan suhu udara dapat dilakukan untuk stasiun kerja *welding* dan *coating* dimana proses tersebut melibatkan bahan baku yang mudah terbakar. Hasil kuesioner untuk pertanyaan sumber suara atau penyebab kebisingan di area kerja (C3) dapat diketahui terdapat 50 % responden yang menjawab bahwa sumber suara yang berasal dari mesin produksi cukup mengganggu aktifitas kerja dan dibutuhkan pemakaian *earplug* sedangkan 50 % responden lainnya menjawab faktor kebisingan masih dapat ditoleransi. Tingkat kebisingan yang cukup tinggi dapat ditemukan pada proses produksi *punching* dan *assembly* dimana hanya terdapat sebagian dari operator yang menggunakan pelindung telinga (*earplug*). Faktor kebisingan juga diakibatkan karena jarak antar stasiun kerja yang saling berdekatan dan tidak dilakukan rekayasa struktur bangunan sehingga dapat menurunkan tingkat kebisingan di area kerja. Untuk mengetahui tingkat kebisingan di area kerja dengan tepat maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut dan dengan penggunaan alat ukur yang lebih baik.

Hasil kuesioner untuk pertanyaan ketersediaan akses untuk berpindah antar stasiun kerja (D1) dapat diketahui terdapat 56 % responden yang menjawab bahwa pengaturan jarak antar fasilitas cukup baik sedangkan 44 % responden menjawab sudah sangat sesuai. Pengaturan area kerja dan akses untuk berpindah antar stasiun kerja diperlukan agar operator mampu bekerja dengan optimal. Namun

dengan tingkat produksi yang sangat tinggi area tersebut menjadi berkurang karena terdapat bahan baku yang sedang dilakukan proses produksi (WIP). Hasil kuesioner untuk pertanyaan ketersediaan fasilitas kerja yang dapat diatur sesuai postur tubuh (D2) dapat diketahui terdapat 53 % responden fasilitas tersebut hanya tersedia secara terbatas sedangkan 47 % menjawab fasilitas tersebut sudah tersedia dan digunakan dengan baik. Fasilitas kerja yang dapat disesuaikan dengan postur tubuh dapat ditemukan di unit *assembly* dan *welding*. Fasilitas tersebut diperlukan agar kemungkinan terjadinya kelelahan pada anggota tubuh selama aktifitas kerja dapat berkurang. Hasil kuesioner untuk pertanyaan keluhan sakit atau tidak nyaman di bagian punggung setelah aktifitas pekerjaan (D3) dapat diketahui terdapat 53 % responden yang menjawab bahwa sakit di bagian punggung terkadang muncul dan menyebabkan penundaan aktifitas pekerjaan sedangkan 47 % responden menjawab keluhan sakit di bagian punggung cukup jarang terjadi. Kondisi sakit di bagian punggung dapat disebabkan karena operator harus bekerja dalam posisi yang membungkuk atau tidak sempurna dalam waktu yang cukup lama. Pengaturan mesin produksi yang ada saat ini juga kurang mendukung faktor ergonomi dimana operator harus memindahkan bahan baku secara manual.

Berdasarkan hasil kuesioner penilaian faktor keamanan kerja maka dapat diketahui terdapat 30 % responden yang menyatakan sangat puas terhadap kondisi keamanan kerja, 50 % responden memberikan respon puas, dan 20 % responden memberikan jawaban tidak puas kondisi keamanan kerja atau butuh perbaikan. Untuk meningkatkan kondisi keamanan kerja maka dapat dilakukan langkah perbaikan pada empat sektor yang menjadi variabel *input* dalam kuesioner yaitu *health*, *safety*, *environment* dan *ergonomics*. Pada kategori *health* dapat dilakukan dengan penambahan peralatan dan ruang kesehatan untuk perawatan ringan jika terjadi kecelakaan kerja. Program perawatan kebersihan di masing-masing unit produksi dapat dilaksanakan setiap akhir jam kerja sehingga kondisi kebersihan di stasiun kerja dapat optimal. Pada kategori *safety* diperlukan perbaikan terhadap prosedur evakuasi jika di area kerja terjadi nyala api dan ledakan (jalur evakuasi, rambu / petunjuk evakuasi dan lokasi evakuasi), penambahan jenis dan jumlah APD serta pelaksanaan pelatihan atau sosialisasi mengenai standar keselamatan kerja kepada operator. Pada kategori *environment* langkah perbaikan dilakukan dengan

penyediaan alat pelindung telinga / *earplug* kepada seluruh operator serta penambahan fasilitas pencahayaan sehingga operator dapat menjalankan pekerjaan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Pada faktor *ergonomics* langkah perbaikan yang dapat dilakukan adalah pengaturan *layout* area kerja untuk memudahkan akses perpindahan antar stasiun kerja dan penyediaan fasilitas kerja (meja, kursi dll) yang dapat diatur sesuai dengan postur tubuh.

Pelaksanaan langkah perbaikan untuk kondisi keamanan kerja dibutuhkan kerjasama antara pihak manajemen perusahaan dengan operator. Manajemen perusahaan bertanggung jawab untuk melakukan perbaikan fasilitas (APD, *layout* stasiun kerja) dan perancangan aturan keselamatan kerja (prosedur evakuasi). Sedangkan operator memiliki tanggung jawab untuk mengikuti aturan atau SOP yang telah diberikan oleh perusahaan. Hasil akhir yang diharapkan adalah dapat tercapai kriteria penilaian sangat memuaskan untuk kondisi keamanan kerja.

5.3 Analisis Model ANFIS

Dalam proses pengolahan data digunakan 24 model ANFIS yang berbeda untuk mendapatkan nilai MAPE yang paling minimum. MAPE digunakan sebagai kriteria akurasi karena mampu menghitung rata-rata dari keseluruhan presentase kesalahan (selisih) antara data aktual dengan data peramalan. Menurut Makridakis dkk (1999) kriteria MAPE merupakan kriteria yang lebih baik dibandingkan dengan ME, MAE, dan MSE. Hal ini disebabkan oleh kriteria MAPE adalah ukuran relatif sedangkan kriteria lainnya berupa ukuran absolut. Menurut Azadeh (2014) jika nilai MAPE dalam model ANFIS $> 0,35$ maka dibutuhkan *input* kuesioner tambahan, namun jika nilai MAPE $\leq 0,35$ maka dapat dilakukan analisis lebih lanjut.

Berdasarkan *running* model ANFIS yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa nilai minimum MAPE adalah 0,00096. Terdapat beberapa model ANFIS yang menghasilkan nilai MAPE yang sama hal ini disebabkan oleh jumlah *train* data yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah parameter yang mampu diubah oleh fungsi ANFIS. Dalam hal ini jumlah *train* data sebanyak 27 data sedangkan jumlah parameter fungsi ANFIS adalah 37 parameter. Maka untuk perhitungan *output* data dapat dipilih salah satu dari model ANFIS dengan nilai

MAPE paling minimum, model dengan fungsi *input* GaussMF, operator (min, max, min, max) dan fungsi *output* linear.

Dalam penelitian ini terdapat empat *inference method* yang diubah-ubah untuk mengetahui pengaruh perubahan tersebut terhadap performansi ANFIS. Perubahan yang dilakukan untuk masing-masing *inference method* yaitu *AND method* (min, prod), *OR method* (max, probor), *Implication* (min, prod), *Aggregation* (max, sum, probor). Penggunaan operator pada *inference method* tersebut berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Azadeh (2014). Penentuan jumlah model yang harus dilakukan pengujian berdasarkan jumlah operator pada masing-masing *inference method* dimana pada *AND*, *OR*, dan *Implication* terdapat 2 operator sedangkan pada *Aggregation* terdapat 3 operator sehingga didapatkan jumlah 24 model ANFIS.

Berdasarkan hasil pengujian model ANFIS jenis *inference method* yang berpengaruh terhadap perubahan nilai MAPE adalah *AND method*. Secara umum ANFIS terdiri dari 5 *layer* dimana masing-masing *layer* memiliki fungsi masing-masing. Pada *layer* pertama tiap *node* akan menghasilkan *membership grade* sesuai dengan jenis *input membership function*, dalam hal ini seluruh model menggunakan fungsi GaussMF. Pada *layer* kedua tiap *node* akan menghitung *firing strength* untuk tiap aturan (min, prod) dalam *AND method*. Untuk *layer* ketiga tiap *node* akan menghitung rasio dari *rules firing strength* terhadap jumlah total *rules firing strength*, nilai ini disebut dengan *normalized firing strength*. Pada *layer* keempat tiap *node* akan menghitung parameter fungsi yang terdapat pada *layer* ketiga (*consequent parameters*). Pada *layer* kelima tiap *node* akan melakukan agregasi terhadap *output* secara keseluruhan.

5.4 Analisis Output Data ANFIS

Model ANFIS dengan nilai MAPE paling minimum digunakan untuk menghitung estimasi nilai *output* (*job security*) dari masing-masing operator. Dapat diketahui bahwa perbedaan nilai *output* data dari kuesioner dengan hasil estimasi model ANFIS relatif kecil, sebagai contoh untuk operator dengan kode (OP 10) nilai *output* kuesioner yaitu 3,00 sedangkan nilai *output* model ANFIS adalah 3,0010 sehingga terdapat selisih sebesar 0,001. Hasil perhitungan tersebut

menggunakan nilai *epoch* sebesar 20, nilai tersebut dapat dirubah sesuai dengan asumsi pengolahan data yang dijalankan. Penentuan nilai *epoch* sebesar 20 mengikuti penelitian yang telah dilakukan oleh Azadeh (2014).

Jika dalam model ANFIS digunakan nilai *epoch* sebesar 10, maka untuk operator dengan kode (OP 10) terdapat perubahan hasil perhitungan yaitu nilai *output* kuesioner 3,00 sedangkan nilai *output* model ANFIS adalah 2,9977 sehingga terdapat selisih sebesar 0,0023. Semakin kecil nilai *epoch* maka ANFIS akan melakukan lebih sedikit iterasi hingga nilai minimum *error* tercapai (nilai *epoch* lebih dari nilai *epoch* yang ditetapkan). Sehingga dapat disimpulkan apabila dalam model ANFIS digunakan nilai *epoch* yang semakin besar maka hasil estimasi yang didapatkan memiliki nilai *error* (selisih dengan data aktual) yang lebih kecil.

Perhitungan efisiensi operator didapatkan dari nilai *error* (selisih) antara nilai *output* kuesioner dengan nilai estimasi *output* model ANFIS. Selanjutnya digunakan algoritma yang dirancang untuk menghitung nilai Constant Returns to Scale (CRS) dan disebut dengan istilah *standardized efficiency* (Athanasopoulos & Curram, 1996). Algoritma perhitungan efisiensi operator dalam penelitian ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Azadeh (2014). Dalam efisiensi faktor digunakan rentang nilai 0 – 1 dimana jika didapatkan nilai maksimum maka data tersebut menjadi kandidat untuk dilakukan langkah koreksi (Azadeh, et al., 2007). Berdasarkan perhitungan efisiensi operator yang telah dilaksanakan maka dapat diketahui bahwa terdapat 5 operator yang memiliki nilai efisiensi (1,00) sehingga operator tersebut dilakukan langkah koreksi dan akan dilakukan analisis lebih lanjut dengan uji *Anderson-Darling*.

Data efisiensi operator dalam penelitian ini diasumsikan mengikuti distribusi normal. Untuk melakukan uji normalitas data dan identifikasi data yang tidak sesuai dengan distribusi normal maka akan dilakukan dengan metode *Anderson-Darling*. Hasil pengujian dari metode tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik probabilitas normal. Jika data yang didapatkan mengikuti aturan distribusi normal, maka titik dalam grafik yang menunjukkan nilai efisiensi operator akan menempati posisi yang dekat dengan garis lurus. Posisi titik terhadap garis juga ditentukan oleh jumlah sampel data yang didapatkan, jika data yang dikumpulkan lebih dari 100 maka terdapat kemungkinan letak titik akan semakin

dekat dengan garis. Apabila data yang dikumpulkan sedikit (< 30) maka akan terlihat variasi yang cukup besar namun terdapat kemungkinan data tersebut masih sesuai dengan distribusi normal.

Berdasarkan uji *Anderson-Darling* yang telah dilaksanakan dapat diketahui bahwa nilai *p-value* kurang dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan data tersebut tidak sesuai dengan distribusi normal (tolak hipotesis data sesuai distribusi normal). Untuk mendapatkan data yang sesuai dengan distribusi normal maka dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi *outlier* operator dan data tersebut tidak disertakan dalam pengujian selanjutnya. Setelah dilakukan perbaikan terhadap *outlier* operator maka didapatkan nilai *p-value* sebesar 0,329 ($> 0,05$) sehingga dapat disimpulkan data tersebut telah sesuai dengan distribusi normal. Faktor yang menyebabkan munculnya *outlier* operator sebagai berikut :

1. Operator kurang memahami standar keselamatan kerja
2. Operator tidak menjawab pertanyaan dalam kuesioner dengan jujur karena takut akan mendapat sanksi dari perusahaan
3. Operator sedang dalam kondisi pekerjaan yang menumpuk / sibuk saat menjawab kuesioner

5.5 Rekomendasi Perancangan Kuesioner Keamanan Kerja (*Job Security*)

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan sesuai dengan tujuan pengukuran dalam hal ini faktor keamanan kerja, maka kuesioner tersebut perlu ditambahkan variabel yang menjadi kriteria penilaian. Kuesioner yang disusun dalam penelitian ini terdiri dari empat variabel *input* (*health, safety, environment, dan ergonomics*). Penambahan variabel penilaian untuk kuesioner meliputi faktor tingkat beban kerja (*workload*), kondisi mental operator, karakteristik pekerjaan, tingkat kepuasan kerja (*job satisfactions*) dan hubungan antar operator dengan pihak manajemen perusahaan. Variabel yang ditambahkan dalam kuesioner tersebut diharapkan mampu memberikan kemudahan bagi operator dalam proses penilaian keamanan kerja. Manajemen perusahaan juga mendapatkan hasil penilaian secara lengkap dan akurat sebagai dasar untuk perbaikan kondisi keamanan kerja yang diperlukan.

5.6 Rekomendasi Model ANFIS

Model ANFIS dapat menjadi alternatif metode penilaian keamanan kerja (*job security*) dan memiliki keunggulan dapat menampilkan hasil pengolahan data dengan cepat. Metode ini akan sangat bermanfaat apabila terdapat banyak kriteria penilaian sehingga proses pengolahan data menjadi semakin kompleks. Untuk mendapatkan perbandingan hasil pengolahan data, dapat dilakukan dengan perubahan nilai *epoch* dan parameter fungsi keanggotaan. Perhitungan estimasi tingkat efisiensi operator juga dapat dilakukan dengan model ANFIS dimana data tersebut dapat digunakan sebagai dasar penilaian kinerja operator.

BAB 6 SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dilakukan penarikan simpulan dan saran yang berhubungan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Simpulan menjawab tujuan penelitian sedangkan saran diberikan untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Simpulan

Simpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Terdapat empat variabel *input* yang digunakan dalam kuesioner penilaian keamanan kerja, pada variabel *health* digunakan kriteria penilaian durasi waktu istirahat, ketersediaan peralatan medis, dan kebijakan perawatan kebersihan. Pada variabel *safety* digunakan kriteria penilaian potensi nyala api di area kerja, penggunaan APD, dan sosialisasi keselamatan kerja. Pada variabel *environment* digunakan kriteria penilaian kondisi intensitas cahaya, suhu udara dan tingkat kebisingan di area kerja. Pada variabel *ergonomics* digunakan kriteria penilaian pengaturan *layout* stasiun kerja, ketersediaan fasilitas yang dapat disesuaikan dengan postur tubuh, dan keluhan sakit / nyeri di bagian punggung setelah aktifitas kerja
2. Berdasarkan data kuesioner maka dapat diketahui pencapaian nilai untuk masing-masing variabel, pada variabel *health* (2,72), variabel *safety*, variabel *environment* (2,81), variabel *ergonomics* (2,82).
3. Dengan menggunakan kriteria MAPE, maka nilai *error* paling kecil (0,00096) didapatkan pada model ANFIS dengan fungsi *input* GaussMF, empat MF, operator *AND* (*min*), dan fungsi *output* Linear
4. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan metode ANFIS, terdapat 30 % responden yang menyatakan sangat puas terhadap kondisi keamanan kerja, 50 % responden memberikan respon puas, dan 20 % responden memberikan jawaban tidak puas kondisi keamanan kerja atau butuh perbaikan.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas mengenai kondisi keamanan kerja maka dapat ditambahkan variabel *input* yang lain dan juga dapat digunakan variabel yang sama namun dengan penambahan indikator atau kriteria penilaian di setiap variabel
2. Hasil penilaian keamanan kerja yang lebih komprehensif dapat dilakukan dengan penelitian yang melibatkan jumlah responden yang lebih besar
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh tipe parameter fungsi keanggotaan terhadap akurasi ANFIS.

Metode ANFIS akan sangat bermanfaat apabila terdapat banyak kriteria penilaian sehingga proses pengolahan data menjadi semakin kompleks

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN *INTELLIGENCE ALGORITHM* UNTUK PENILAIAN OPERATOR TERHADAP KONDISI KEAMANAN KERJA (*JOB SECURITY*) DENGAN MEMPERTIMBANGKAN INDIKATOR HSEE (*HEALTH, SAFETY, ENVIRONMENT, ERGONOMICS*)

Kuisisioner digunakan sebagai bagian penelitian tugas akhir Program Sarjana Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Tujuan dari kuisisioner ini adalah untuk mengetahui penilaian kondisi keamanan kerja (*job security*) oleh operator di PT Dempo Laser Metalindo. Penilaian pada kuisisioner akan digunakan skala *likert* dengan skala 1-4 untuk masing-masing pertanyaan.

Untuk kepentingan penelitian ini, identitas bapak/ibu/saudara kami jamin kerahasiaannya. Mohon kuisisioner diisi dengan benar dan sesuai dengan petunjuk pengisian kuisisioner. Terima kasih atas kesediaan responden untuk mengisi kuisisioner ini.

Petunjuk Pengisian Kuisisioner :

1. Kuisisioner terdiri dari empat kategori pertanyaan dimana untuk masing-masing kategori terdapat tiga pertanyaan yang akan dilakukan penilaian.
2. Silakan beri tanda centang (✓) pada kolom skala penilaian yang tersedia sesuai dengan sudut pandang anda mengenai kondisi keamanan kerja (*job security*) pada kondisi saat ini.
3. Keterangan untuk masing-masing nilai pada setiap pertanyaan dapat diketahui pada halaman berikutnya.

Keterangan Skala Penilaian :

Skala	Keterangan
1	Sangat tidak sesuai
2	Tidak sesuai
3	Sesuai
4	Sangat sesuai

No	Kategori	Pertanyaan	Kode	Skala Penilaian			
				1	2	3	4
1	Health	Apakah menurut anda durasi istirahat yang disediakan cukup memadai?	A1				
2		Apakah terdapat petugas kesehatan dan fasilitas medis di area kerja?	A2				
3		Apakah fasilitas kerja dilakukan perawatan kebersihan secara berkala?	A3				
4	Safety	Apakah terdapat potensi ledakan atau nyala api di dalam area kerja?	B1				
5		Apakah terdapat pengaturan mengenai penggunaan alat pelindung diri (APD) di area kerja?	B2				
6		Apakah terdapat pelatihan mengenai aturan keselamatan kerja?	B3				
7	Environment	Apakah fasilitas penerangan di area kerja telah sesuai dengan kebutuhan?	C1				
8		Apakah anda merasa nyaman dengan suhu udara di area kerja untuk menjalankan aktifitas pekerjaan?	C2				
9		Apakah anda merasa terganggu dengan sumber suara / penyebab kebisingan di area kerja?	C3				
10	Ergonomics	Apakah terdapat area yang cukup untuk bergerak / berpindah antar stasiun kerja?	D1				
11		Apakah fasilitas di ruang kerja (kursi, meja, dll) dapat diatur sesuai dengan postur tubuh?	D2				
12		Apakah anda merasa tidak nyaman / sakit di bagian punggung setelah melakukan aktifitas kerja?	D3				
13	Job Security Evaluation	Apakah anda telah ditempatkan di unit kerja sesuai dengan keahlian yang dimiliki?	E1				
14		Bagaimana penilaian anda mengenai dukungan manajemen perusahaan untuk menjamin keamanan kerja?	E2				
15		Apakah anda mendapatkan laporan / rekap data (secara periodik) dari perusahaan mengenai tingkat kecelakaan kerja?	E3				
16		Bagaimana penilaian anda mengenai faktor keamanan kerja di lingkungan kerja saat ini?	E4				

Kode	Skala Penilaian			
	1	2	3	4
A1	Waktu istirahat yang tersedia < 15 menit	Waktu istirahat yang tersedia 15-30 menit	Waktu istirahat yang tersedia 30 - 60 menit	Waktu istirahat yang tersedia 60 - 90 menit
A2	Tidak terdapat petugas maupun peralatan medis	Tidak terdapat petugas kesehatan namun telah disediakan kotak P3K untuk perawatan ringan	Petugas kesehatan secara periodik datang ke area kerja dan tersedia peralatan medis	Petugas kesehatan tersedia setiap hari, terdapat peralatan medis dan ruang perawatan sementara
A3	Fasilitas kerja hanya dibersihkan satu kali dalam waktu satu bulan	Fasilitas kerja dibersihkan dua kali dalam waktu satu bulan	Fasilitas kerja dibersihkan dua hingga tiga kali dalam satu minggu	Fasilitas kerja dibersihkan setiap hari
B1	Kondisi area kerja sangat mudah terbakar dan terjadi ledakan karena banyak bahan kimia	Kondisi area kerja cukup mudah terbakar dengan kemungkinan ledakan yang rendah	Kondisi area kerja aman dari potensi kebakaran dan ledakan namun evakuasi korban cukup lama	Kondisi area kerja sangat aman, terdapat standar evakuasi kecelakaan dan tim penyelamat
B2	Ketersediaan APD tidak mencukupi untuk seluruh karyawan, dan kondisi APD yang tidak layak pakai	APD tersedia untuk seluruh karyawan, cukup layak pakai namun jenisnya terbatas	Seluruh karyawan memakai APD dengan lengkap, sosialisasi penggunaan dilakukan secara periodik	Seluruh karyawan dilengkapi dengan APD, dilakukan pelatihan, dan penerapan sanksi
B3	Pelatihan hanya dilakukan satu kali dalam satu tahun, tidak diterapkan dan tidak dievaluasi	Pelatihan dilakukan satu kali dalam satu tahun, diterapkan sebagian dan tidak dievaluasi	Pelatihan dilakukan dua kali dalam satu tahun, telah diterapkan dan dievaluasi terbatas	Pelatihan dilakukan lebih dari dua kali dalam satu tahun, diterapkan dan dievaluasi menyeluruh
C1	Intensitas cahaya dalam area kerja sangat tidak sesuai, kondisi terlalu silau atau terlalu gelap	Intensitas cahaya dalam area kerja tidak sesuai, kondisi gelap atau silau	Intensitas cahaya dalam area kerja sesuai dengan kebutuhan, tidak terlalu gelap atau silau	Intensitas cahaya dalam area kerja sangat sesuai, sangat membantu aktifitas pekerjaan
C2	Suhu dalam area kerja terlalu panas atau dingin sehingga aktifitas pekerjaan dihentikan sementara	Suhu dalam area kerja cukup panas atau dingin dan aktifitas pekerjaan tidak berlangsung optimal	Suhu dalam area kerja sesuai dengan kebutuhan dan aktifitas pekerjaan berjalan normal	Suhu dalam area kerja sangat sesuai dan sangat nyaman untuk aktifitas pekerjaan
C3	Sumber suara / kebisingan sangat mengganggu, sakit di bagian telinga dan butuh pemakaian APD	Sumber suara / kebisingan cukup sering muncul, dapat ditangani dengan pemakaian APD	Sumber suara / kebisingan masih dapat ditoleransi, dan tidak mengganggu pekerjaan	Tidak terdapat sumber suara di dalam dan luar area kerja sehingga tidak mengganggu pekerjaan
D1	Area kerja sangat sempit, jarak antar mesin produksi berdekatan (< 1 m), sulit untuk dilakukan perpindahan posisi	Area kerja sempit, jarak antar mesin kurang memadai (1 - 1,5 m), terdapat sisa bahan produksi yang menghalangi akses jalan	Area kerja luas, pengaturan jarak antar fasilitas cukup baik (1,5 - 2 m)	Area kerja luas, pengaturan fasilitas produksi sangat baik (2 - 3 m) dan terdapat garis pembatas akses jalan
D2	Fasilitas kerja dalam kondisi yang rusak sehingga tidak dapat diubah posisinya sesuai postur tubuh	Hanya terdapat sebagian fasilitas kerja yang dapat diatur posisinya untuk kenyamanan bekerja	Fasilitas kerja dapat diatur posisi tinggi atau rendah sesuai dengan postur tubuh karyawan	Fasilitas kerja dapat diatur sesuai dengan postur karyawan, baik tinggi, posisi penyangga punggung dan leher
D3	Sakit di bagian punggung selalu muncul sehingga aktifitas pekerjaan harus dihentikan	Sakit di bagian punggung terkadang muncul dan aktifitas pekerjaan dihentikan untuk sementara	Sakit di bagian punggung jarang terjadi dan tidak mengganggu pekerjaan	Tidak terdapat keluhan sakit punggung

LAMPIRAN 2

HASIL PENILAIAN KUESIONER

Operator Code	Input																	
	A1	A2	A3	Average	B1	B2	B3	Average	C1	C2	C3	Average	D1	D2	D3	Average	E1	
1	3	2	3	2,67	2	3	3	2,67	3	3	3	3,00	4	3	3	3,33	4,00	
2	3	3	3	3,00	3	4	2	3,00	4	3	2	3,00	3	2	3	2,67	4,00	
3	4	3	2	3,00	2	3	3	2,67	4	2	3	3,00	4	3	2	3,00	3,00	
4	4	2	3	3,00	3	3	2	2,67	3	3	3	3,00	4	2	2	2,67	3,00	
5	3	2	3	2,67	2	3	3	2,67	4	2	2	2,67	4	2	2	2,67	2,00	
6	3	2	2	2,33	2	3	3	2,67	3	2	2	2,33	3	2	3	2,67	2,00	
7	3	2	3	2,67	3	4	2	3,00	3	3	3	3,00	3	3	3	3,00	4,00	
8	3	2	2	2,33	2	3	2	2,33	3	3	2	2,67	3	3	2	2,67	2,00	
9	3	3	2	2,67	2	4	3	3,00	4	2	3	3,00	4	3	2	3,00	4,00	
10	4	2	2	2,67	3	3	2	2,67	4	3	2	3,00	3	2	3	2,67	3,00	
11	4	3	3	3,33	2	4	2	2,67	3	3	3	3,00	4	3	2	3,00	4,00	
12	3	2	3	2,67	2	3	2	2,33	3	2	2	2,33	3	2	2	2,33	2,00	
13	3	3	2	2,67	3	4	2	3,00	3	3	2	2,67	4	3	2	3,00	3,00	
14	3	3	2	2,67	3	4	2	3,00	4	2	2	2,67	3	3	3	3,00	3,00	
15	3	2	3	2,67	3	3	2	2,67	4	3	2	3,00	3	2	3	2,67	3,00	
16	3	3	3	3,00	3	3	2	2,67	3	2	3	2,67	3	3	2	2,67	3,00	
17	4	2	3	3,00	2	4	2	2,67	4	2	3	3,00	3	3	2	2,67	3,00	
18	4	2	2	2,67	2	3	3	2,67	3	2	3	2,67	4	3	2	3,00	3,00	
19	4	2	2	2,67	3	3	2	2,67	4	3	2	3,00	4	2	2	2,67	3,00	
20	3	3	2	2,67	2	3	3	2,67	3	3	3	3,00	3	2	3	2,67	3,00	
21	4	2	2	2,67	2	4	2	2,67	3	3	3	3,00	3	3	3	3,00	4,00	
22	3	2	3	2,67	3	3	3	3,00	4	2	3	3,00	4	3	3	3,33	4,00	
23	4	3	2	3,00	3	4	2	3,00	4	3	3	3,33	4	2	3	3,00	4,00	
24	3	3	3	3,00	2	4	2	2,67	4	2	2	2,67	3	2	3	2,67	3,00	
25	3	2	2	2,33	2	3	2	2,33	3	2	2	2,33	3	3	2	2,67	2,00	
26	3	3	2	2,67	2	3	3	2,67	3	2	3	2,67	4	2	3	3,00	3,00	
27	3	3	3	3,00	2	4	2	2,67	3	3	2	2,67	3	3	3	3,00	3,00	
28	4	3	2	3,00	2	3	3	2,67	3	2	3	2,67	3	3	2	2,67	4,00	
29	3	2	2	2,33	2	3	3	2,67	3	3	2	2,67	3	2	2	2,33	2,00	
30	3	2	3	2,67	3	4	2	3,00	3	3	2	2,67	4	3	2	3,00	3,00	

LAMPIRAN 3

TRAIN CODE

```
itrain = xlsread ('TA-excel.xlsx','Train data','B3:E29');
otrain = xlsread ('TA-excel.xlsx','Train data','F3:F29');
itest = xlsread ('TA-excel.xlsx','Test Data','B3:E5');
otest = xlsread ('TA-excel.xlsx','Test Data','F3:F5');
trnData = [itrain otrain];
j = 1;
for i = 0.1:0.01:1
    fismat = genfis2 (itrain,otrain,i);
    fismat = setfis (fismat,'andmethod','min');
    fismat = setfis (fismat,'ormethod','max');
    fismat = setfis (fismat,'impmethod','prod');
    fismat = setfis (fismat,'aggmethod','probor');
    out_fis = anfis (trnData,fismat,10);
    y(:,j) = evalfis (itest,out_fis);
    j = j+1;
end
for i = 1:85
    e1 = y(:,i)-otest;
    mape(i,1) = mean(abs(e1./otest));
end
[a,b]=min(mape);
r=b*0.01+0.09
xlswrite('min-max-prod-sum',mape,'mape');
```

LAMPIRAN 4

TEST CODE

```
input = xlsread ('TA-excel.xlsx','Data kuisisioner_1','B3:E32');
itrain = xlsread ('TA-excel.xlsx','Train data','B3:E29');
otrain = xlsread ('TA-excel.xlsx','Train data','F3:F29');
trnData = [itrain otrain];
fismat = genfis2 (itrain,otrain,0.86);
fismat = setfis (fismat,'andmethod','min');
fismat = setfis (fismat,'ormethod','max');
fismat = setfis (fismat,'impmethod','prod');
fismat = setfis (fismat,'aggmethod','max');
out_fis = anfis (trnData,fismat,10);
z = evalfis (input,out_fis);
```

LAMPIRAN 5

EFFICIENCY CODE

```
itrain = xlsread ('TA-excel.xlsx', 'Train data', 'B3:E29');
otrain = xlsread ('TA-excel.xlsx', 'Train data', 'F3:F29');
p = xlsread ('TA-excel.xlsx', 'Data kuisisioner_1', 'B3:E32');
t = xlsread ('TA-excel.xlsx', 'Data kuisisioner_1', 'F3:F32');
trnData = [itrain otrain];
fismat = genfis2 (itrain,otrain,0.86);
fismat = setfis (fismat, 'andmethod', 'min');
fismat = setfis (fismat, 'ormethod', 'max');
fismat = setfis (fismat, 'impmethod', 'prod');
fismat = setfis (fismat, 'aggmethod', 'max');
out_fis = anfis (trnData,fismat,20);
z = evalfis (p,out_fis);
for i = 1:30
    v(i) = mean(t)-t(i)/30;
    s = sum(v);
    w(i) = v(i)/s;
    E(i) = t(i) - z(i);
    E1(i) = E(i)/w(i);
    [c,k] = max(E1);
    sh(i) = E(k)*(w(i)/w(k));
    F(i) = t(i)/(z(i)+sh(i));
end;
```

LAMPIRAN 6

ARSITEKTUR MODEL ANFIS

Arsitektur ANFIS								
Number	Input Membership function	Output Membership function	AND method	OR method	Implication	Aggregation	Minimum MAPE	r
1	Gaussmf	Linear	prod	max	min	max	0,00239	0,85
2	Gaussmf	Linear	prod	probor	min	max	0,00239	0,85
3	Gaussmf	Linear	min	max	prod	max	0,00096	0,86
4	Gaussmf	Linear	min	max	min	max	0,00096	0,86
5	Gaussmf	Linear	min	probor	min	max	0,00096	0,86
6	Gaussmf	Linear	prod	max	prod	max	0,00239	0,85
7	Gaussmf	Linear	min	probor	prod	max	0,00096	0,86
8	Gaussmf	Linear	prod	probor	prod	max	0,00239	0,85
9	Gaussmf	Linear	min	max	min	sum	0,00096	0,86
10	Gaussmf	Linear	min	probor	min	sum	0,00096	0,86
11	Gaussmf	Linear	min	max	prod	sum	0,00096	0,86
12	Gaussmf	Linear	prod	max	min	sum	0,00239	0,85
13	Gaussmf	Linear	prod	probor	min	sum	0,00239	0,85
14	Gaussmf	Linear	prod	max	prod	sum	0,00239	0,85
15	Gaussmf	Linear	min	probor	prod	sum	0,00096	0,86
16	Gaussmf	Linear	prod	probor	prod	sum	0,00239	0,85
17	Gaussmf	Linear	min	max	min	probor	0,00096	0,86
18	Gaussmf	Linear	min	probor	min	probor	0,00096	0,86
19	Gaussmf	Linear	min	max	prod	probor	0,00096	0,86
20	Gaussmf	Linear	prod	max	min	probor	0,00239	0,85
21	Gaussmf	Linear	prod	probor	min	probor	0,00239	0,85
22	Gaussmf	Linear	prod	max	prod	probor	0,00239	0,85
23	Gaussmf	Linear	min	probor	prod	probor	0,00096	0,86
24	Gaussmf	Linear	prod	probor	prod	probor	0,00239	0,85