



TESIS - PM 147501

**OPTIMASI MULTI RESPON PROSES VULKANISASI
SOL KARET DENGAN METODE *BACKPROPAGATION*
NEURAL NETWORK-GENETIC ALGORITHM (BPNN-
GA) (STUDI KASUS DI CV. XYZ SIDOARJO)**

ZAIN AMARTA

NRP 09211650013014

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI

FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TESIS - PM 147501

**OPTIMASI MULTI RESPON PROSES VULKANISASI
SOL KARET DENGAN METODE *BACKPROPAGATION*
NEURAL NETWORK-GENETIC ALGORITHM (BPNN-
GA) (STUDI KASUS DI CV. XYZ SIDOARJO)**

ZAIN AMARTA

NRP 09211650013014

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI

FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



THESIS - PM 147501

**MULTI RESPONSE OPTIMIZATION OF RUBBER SOLE
VULCANIZATION PROCESS USING BACKPROPAGATION
NEURAL NETWORK-GENETIC ALGORITHM (BPNN-GA)
(CASE STUDY AT CV. XYZ SIDOARJO)**

ZAIN AMARTA

NRP 09211650013014

ADVISOR

Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

MASTER PROGRAM

FIELD STUDY OF INDUSTRIAL MANAGEMENT

DEPARTEMENT OF TECHNOLOGY MANAGEMENT

FACULTY OF BUSINESS AND TECHNOLOGY MANAGEMENT

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**ZAIN AMARTA
NRP. 09211650013014**

**Tanggal Ujian : 19 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018**

Disetujui oleh:


**1. Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)
NIP. 1953 0516 1978 031001**


**2. Dr. Ir. Bambang Syairudin, M.T. (Penguji)
NIP. 1963 1008 1990 021001**


**3. Dr. Sutikno, S.Si., M.Si. (Penguji)
NIP. 1971 0313 1997 021001**

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,


**Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc.
NIP. 1959 0318 1987 011001**

NIP. 1959 0318 1987 011001

**FAKULTAS BISNIS
DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI**

**OPTIMASI MULTI RESPON PROSES VULKANISASI SOL
KARET DENGAN METODE *BACKPROPAGATION NEURAL
NETWORK-GENETIC ALGORITHM* (BPNN-GA)
(STUDI KASUS DI CV. XYZ SIDOARJO)**

Nama : Zain Amarta
NRP : 09211650013014
Pembimbing : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

CV. XYZ Sidoarjo adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri barang jadi karet dan memproduksi sol karet yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan sepatu atau sandal. Kualitas produk menjadi prioritas utama bagi CV. XYZ Sidoarjo. Salah satu tahapan proses produksi yang berpengaruh langsung terhadap kualitas sol karet adalah proses vulkanisasi. Sol karet memiliki dua *critical to quality* (CTQ), yaitu kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Karakteristik spesifikasi dari kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada sol karet adalah semakin tinggi semakin baik atau *higher is better*. Selama ini kedua CTQ dari sol karet masih banyak yang belum memenuhi spesifikasi. Hal tersebut menyebabkan banyaknya produk cacat. Agar kedua CTQ dari sol karet dapat memenuhi spesifikasi, maka dilakukan suatu penelitian tentang pengaturan parameter proses vulkanisasi.

Metode optimasi multi respon yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *backpropagation neural network* (BPNN) yang dipadu dengan metode *genetic algorithm* (GA). Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan ketiga parameter proses vulkanisasi yang masing-masing memiliki tiga level. Suhu cetakan divariasikan sebesar 140°C, 155°C dan 170°C. Tekanan cetakan divariasikan sebesar 70 bar, 80 bar dan 90 bar. Waktu tahan divariasikan sebesar 2 menit, 3 menit dan 4 menit. Rancangan eksperimen menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial 3 x 3 x 3 dengan replikasi 3 kali. Parameter respon yang diamati adalah kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang diukur dengan menggunakan mesin Zwick/Roell Z005. Penelitian ini juga menghitung penurunan biaya kerugian antara proses awal dengan proses yang telah dilakukan optimasi. Penurunan biaya kerugian dihitung dengan menggunakan *Taguchi loss function*.

Pengembangan jaringan BPNN menghasilkan arsitektur jaringan yaitu 3 *neuron* pada *input layer*, 16 *neuron* pada *hidden layer* dan 2 *neuron* pada *output layer*. Pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus adalah suhu cetakan sebesar 145 °C, tekanan cetakan sebesar 84 bar dan waktu tahan sebesar 4 menit. Penurunan biaya kerugian yang terjadi adalah sebesar Rp 238,55/unit atau 27,30%.

Kata kunci: Sol Karet, proses vulkanisasi, *backpropagation neural network*, *genetic algorithm*

**MULTI RESPONSE OPTIMIZATION OF RUBBER SOLE
VULCANIZATION PROCESS USING BACKPROPAGATION
NEURAL NETWORK-GENETIC ALGORITHM (BPNN-GA)
(CASE STUDY AT CV. XYZ SIDOARJO)**

Name : Zain Amarta
NRP : 09211650013014
Advisor : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

CV. XYZ Sidoarjo is a rubber sole manufacturer that focuses on product quality. Vulcanization process is one of rubber sole manufacturing process that affects the product quality. Tensile strength and elongation at break are some responses that used to evaluate the performance of vulcanization process. The quality characteristics of these responses are “higher-is-better”. The aim of this research is to identify the combination of process parameters for achieving maximum responses in vulcanization process of rubber sole. The optimization was conducted by using the combination of backpropagation neural network (BPNN) method and genetic algorithm (GA) method. The three important process parameters such as molding temperature, molding pressure, and holding time were used as input parameters. All the process parameters were set at three different levels. Hence, a 3 x 3 x 3 full factorial was used as design experiments. The experiments were replicated three times. The architecture of developed BPNN had 3 neurons on input layer, 16 neurons on hidden layer, and 2 neurons on output layer. The maximum tensile strength and elongation at break could be obtained by using molding temperature, molding pressure, and holding time of 145 °C, 84 bar, and 4 minutes respectively. The total reducing loss cost of the process using optimal setting levels was Rp. 238.55/unit or 27.30%.

Keywords: Rubber sole, vulcanization process, backpropagation neural network, genetic algorithm

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Agung dan Bijaksana. Atas berkah, petunjuk dan karunia-Nya penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan laporan tesis dengan judul “Optimasi Multi Respon Proses Vulkanisasi Sol Karet dengan Metode *Backpropagation Neural Network-Genetic Algorithm* (BPNN-GA) (Studi Kasus di CV. XYZ Sidoarjo).” Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Manajemen Teknologi pada Departemen Manajemen Teknologi, Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah Mohammad Nurozie, Ibu Ida Nursanti, Adik Nur Isnainiyah Mufattikhah dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan do’a, dukungan dan perhatiannya kepada penulis.
2. Bapak Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., selaku kepala Departemen Manajemen Teknologi, Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc., selaku dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Syairudin, M.T. dan Dr. Sutikno, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji tesis yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan tesis ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Manajemen Teknologi yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah hingga tesis ini.

7. Bapak Kuntjoro, selaku pemilik perusahaan sol karet yang telah memberikan kesempatan dan bantuan untuk melakukan pengambilan data eksperimen pada penelitian ini.
8. Seluruh staf dan karyawan Laboratorium Balai Pengembangan Industri Persepatuan Indonesia yang telah memberikan kesempatan dan bantuan untuk melakukan pengujian sol karet pada penelitian ini.
9. Teman-teman seperjuangan mengerjakan tesis, Pak Fajar, Mas Diko, Mas Bayu dan Mbak Anissa yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
10. Teman-teman angkatan 2016 Dapertemen Manajemen Teknologi yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
11. Seluruh staf dan karyawan Departemen Manajemen Teknologi.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam laporan tesis ini, maka dari itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan. Semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.2.1 Batasan Penelitian	5
1.2.2 Asumsi Penelitian	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Karet.....	9
2.2 Proses Vulkanisasi	10
2.3 Kekuatan Tarik.....	12
2.4 Perpanjangan Putus	12
2.5 Rancangan Eksperimen.....	13
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan	13
2.7 Arsitektur Jaringan.....	15
2.8 Fungsi Aktivasi	16
2.9 Pelatihan Standar BPNN	17
2.10 Arsitektur Jaringan BPNN	18
2.11 <i>Pre-processing</i> Data Eksperimen.....	20
2.12 Perhitungan Hasil Prediksi BPNN	20

2.13 Metode <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	21
2.14 Eksperimen Konfirmasi	26
2.15 Pengendalian Proses.....	27
2.16 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian	28
2.17 Posisi Penelitian	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Tahapan Penelitian	33
3.2 Parameter Penelitian	35
3.3 Unit Eksperimen.....	36
3.4 Peralatan Penelitian.....	36
3.5 Rancangan Eksperimen.....	39
3.6 Pelaksanaan Eksperimen.....	40
3.7 Pengukuran Data Parameter Respon.....	40
3.8 Metode BPNN-GA.....	41
3.9 Pelaksanaan Eksperimen Konfirmasi.....	48
3.10 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian	49
BAB 4 OPTIMASI MULTI RESPON DAN PERHITUNGAN	
PENURUNAN BIAYA KERUGIAN	51
4.1 Data Hasil Eksperimen.....	51
4.2 Metode Prediksi BPNN.....	53
4.2.1 <i>Pre-processing</i> (Normalisasi) Data <i>Input</i> dan <i>Output</i>	54
4.2.2 Penentuan Arsitektur Jaringan BPNN.....	57
4.2.3 Penentuan Kriteria Pemberhentian BPNN	61
4.2.4 Data Prediksi BPNN	61
4.3 Metode Optimasi GA	66
4.3.1 Penentuan Fungsi <i>Fitness</i>	66
4.3.2 Penentuan Batas Bawah dan Batas Atas Parameter Proses	67
4.3.3 Penentuan Parameter-Parameter Optimasi GA.....	67
4.4 Hasil Optimasi GA.....	68
4.5 Eksperimen Konfirmasi	68
4.6 Pengujian Kesamaan Nilai Respon Hasil Optimasi dengan Nilai Respon Rata-Rata Hasil Eksperimen Konfirmasi	69

4.7 Analisis Kemampuan Proses.....	70
4.8 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian.....	70
4.9 Pembahasan.....	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN 1	81
LAMPIRAN 2	83
LAMPIRAN 3	84
LAMPIRAN 4	88
LAMPIRAN 5	91
LAMPIRAN 6	93
LAMPIRAN 7	96
LAMPIRAN 8	97
BIOGRAFI PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan layar tunggal	15
Gambar 2.2 Jaringan layar jamak.....	16
Gambar 2.3 Model <i>crossover</i> satu titik.....	25
Gambar 2.4 Model <i>crossover</i> dua titik.....	25
Gambar 2.5 Model <i>crossover</i> banyak titik.....	25
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 3.2 Ukuran spesimen uji.....	36
Gambar 3.3 Mesin <i>hot press</i>	37
Gambar 3.4 Mesin <i>splitter</i>	37
Gambar 3.5 Mesin pemotong.....	38
Gambar 3.6 Alat pengukur ketebalan.....	38
Gambar 3.7 Mesin Zwick/Roell Z005	39
Gambar 3.8 Langkah-langkah metode BPNN-GA	43
Gambar 3.9 Langkah-langkah optimasi jaringan BPNN	47
Gambar 4.1 Pengaruh jumlah <i>neuron</i> terhadap nilai MSE	59
Gambar 4.2 Pengaruh jumlah <i>hidden layer</i> terhadap nilai MSE	60
Gambar 4.3 Arsitektur Jaringan BPNN	60
Gambar 4.4 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data <i>training</i>	63
Gambar 4.5 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data <i>testing</i>	64
Gambar 4.6 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data validasi	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perhitungan <i>Taguchi Loss Function</i>	28
Tabel 2.2 Posisi Penelitian	30
Tabel 3.1 Parameter Proses dan Masing-Masing Level.....	39
Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen.....	51
Tabel 4.2 Data Normalisasi Parameter Proses dan Parameter Respon	55
Tabel 4.3 Kombinasi Parameter BPNN untuk Penentuan Jumlah <i>Neuron</i>	58
Tabel 4.4 Kombinasi Parameter BPNN untuk Penentuan Jumlah <i>Hidden Layer</i> .	59
Tabel 4.5 Data <i>Training</i>	61
Tabel 4.6 Data <i>Testing</i>	64
Tabel 4.7 Data Validasi.....	65
Tabel 4.8 Nilai Batas Bawah dan Batas Atas Parameter Proses	67
Tabel 4.9 Hasil Optimasi GA.....	68
Tabel 4.10 Hasil Eksperimen Konfirmasi.....	68
Tabel 4.11 Hasil Analisis Kemampuan Proses	70
Tabel 4.12 Perhitungan Biaya Pengganti Kerugian (A_0)	71
Tabel 4.13 Hasil Penurunan Biaya Kerugian.....	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu perusahaan harus bisa menjaga kualitas produk yang dihasilkan agar dapat bersaing secara kompetitif di industri manufaktur. Setiap konsumen menginginkan produk dengan kualitas yang tinggi sehingga perusahaan menjadikan kualitas produk sebagai prioritas utama. Oleh karena itu perusahaan selalu berusaha menghasilkan produk dengan kualitas yang tinggi namun dengan biaya produksi yang rendah. Upaya peningkatan kualitas produk bukan hal yang mudah dilakukan karena banyak faktor yang mempengaruhi proses produksi.

Pada saat ini industri barang jadi karet merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia merupakan negara penghasil karet terbesar kedua di dunia setelah Thailand (Syaffendi, 2014). Pada sektor industri kecil dan menengah, industri barang jadi karet mendapatkan dukungan dari pemerintah karena sesuai dengan rencana pembangunan jangka menengah nasional (Suwandi dkk., 2015). Hasil produksi industri barang jadi karet banyak digunakan sebagai bahan baku sepatu, sandal, ban, pelampung, karpet dan berbagai produk lainnya.

CV. XYZ adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri barang jadi karet. CV. XYZ berdiri sejak tahun 2015 dan berlokasi di Wonoayu Kabupaten Sidoarjo. CV. XYZ dikategorikan sebagai perusahaan lokal skala kecil. CV. XYZ memproduksi sol karet yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan sepatu atau sandal. CV. XYZ memiliki kapasitas produksi sebesar 720 unit sol karet setiap hari. Kualitas produk menjadi prioritas utama bagi CV. XYZ untuk memenuhi kebutuhan yang diinginkan oleh pelanggan. Pembuatan sol karet memiliki lima tahapan proses produksi, yaitu proses *compounding* atau penentuan komposisi bahan karet, proses *mixing* atau pencampuran, proses *cutting* atau pemotongan, proses vulkanisasi dan proses *finishing* atau penyempurnaan. Pada lima tahapan proses produksi tersebut, produk cacat banyak terjadi pada proses vulkanisasi.

Proses vulkanisasi adalah proses pencetakan sol karet dengan suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan tertentu untuk meningkatkan kekuatan dan elastisitas dari karet (Mark dkk., 2013). Proses vulkanisasi dilakukan dengan menggunakan mesin *hot press* yang dioperasikan oleh operator. Parameter proses vulkanisasi juga merupakan parameter mesin *hot press* yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Sol karet yang diproduksi oleh CV. XYZ memiliki dua karakteristik kualitas kritis (KKK) atau *critical to quality* (CTQ), yaitu *tensile strength* atau kekuatan tarik dan *elongation at break* atau perpanjangan putus. Kedua CTQ dari sol karet tersebut dijadikan sebagai parameter respon yang merupakan fungsi dari parameter proses vulkanisasi. Karakteristik spesifikasi dari kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada sol karet masing-masing adalah semakin tinggi semakin baik atau *higher is better*. Spesifikasi dari kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada sol karet masing-masing minimal adalah sebesar 4,9 MPa dan 193%.

Banyaknya produk cacat yang terjadi pada proses vulkanisasi dapat diketahui dengan melakukan analisis kemampuan proses. Langkah pertama adalah melakukan pemeriksaan apakah proses vulkanisasi dengan respon kekuatan tarik dan perpanjangan putus sudah terkendali atau tidak. Pemeriksaan tersebut dilakukan dengan membuat peta kendali. Peta kendali yang digunakan adalah Peta kendali \bar{X} dan R. Peta kendali untuk kekuatan tarik dan perpanjangan putus masing-masing ditunjukkan pada Lampiran 1. Peta kendali \bar{X} dan R untuk kekuatan tarik dan perpanjangan putus menunjukkan bahwa kedua CTQ sudah terkendali. Setelah kedua CTQ terkendali, maka dilakukan analisis kemampuan proses.

Analisis kemampuan proses untuk kekuatan tarik dan perpanjangan putus masing-masing ditunjukkan pada Lampiran 1. Analisis kemampuan proses pada Lampiran 1 menunjukkan nilai C_{pk} untuk kekuatan tarik adalah 0,02, nilai C_{pk} untuk perpanjangan putus adalah 0,07. Nilai C_{pk} untuk masing-masing CTQ tersebut masih di bawah satu. Persentase cacat untuk kekuatan tarik dan perpanjangan putus masing-masing adalah 47,23% dan 41,12%. Berdasarkan hasil pada analisis kemampuan proses tersebut dapat disimpulkan bahwa proses vulkanisasi belum mampu menghasilkan sol karet yang memenuhi spesifikasi

kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang tepat agar dapat menghasilkan sol karet dengan kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang memenuhi spesifikasi.

Pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi secara optimal akan meningkatkan kualitas produk dan mengurangi biaya kerugian yang terjadi. Pengaturan kombinasi level-level dari parameter proses vulkanisasi dengan menggunakan optimasi secara serentak dari beberapa respon cukup sulit dilakukan, karena harus melakukan percobaan yang berjumlah besar dan kompleks. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi multi respon pada proses vulkanisasi adalah metode *backpropagation neural network* (BPNN) yang dipadu dengan metode *genetic algorithm* (GA). BPNN telah menjadi metode yang praktis untuk memprediksi parameter respon dan GA banyak digunakan untuk melakukan optimasi dengan respon tunggal ataupun multi respon. Metode BPNN-GA memiliki kelebihan yaitu mampu mendapatkan hasil prediksi dan optimasi yang lebih akurat dan presisi apabila dibandingkan dengan metode lainnya (Al-Zubaidi dkk., 2013).

Aplikasi BPNN yang dipadu dengan GA telah digunakan untuk meningkatkan hasil optimasi respon yang bersifat kontinyu. Penelitian yang membahas tentang optimasi multi respon pada proses *electrical discharge machining* (EDM) telah dilakukan dengan menggunakan metode BPNN-GA dan *respon surface methodology* (RSM) (Tzeng dan Chen, 2013). Penelitian tersebut menggunakan material baja campuran jenis JIS SKD 61. Rancangan eksperimen pada penelitian tersebut menggunakan Taguchi matriks ortogonal L₁₈. Parameter proses yang divariasikan adalah *pulse off time*, *arc off time*, *servo voltage*, *wire feed rate*, *wire tension* dan *water pressure* yang masing-masing memiliki tiga level, sedangkan *pulse on time* memiliki dua level. Respon yang diamati adalah *material removal rate* (MRR) dan kekasaran permukaan (Ra). Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon optimal yang dihasilkan oleh metode BPNN-GA lebih baik dibandingkan dengan metode RSM.

Penelitian yang membahas tentang peramalan respon pada proses gurdi telah dilakukan dengan menggunakan metode BPNN (Hayajneh dkk., 2011). Penelitian tersebut menggunakan material *metal matrix composite* (MMC). Rancangan eksperimen pada penelitian tersebut menggunakan faktorial 6 x 3 dan

replikasi sebanyak dua kali. Parameter yang divariasikan adalah persentase tembaga dan silikon karbida. Respon yang diamati adalah momen torsi dan gaya tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil prediksi adalah 2,03% untuk momen torsi dan 3,46% untuk gaya tekan.

Penelitian yang membahas tentang optimasi multi respon pada proses *end mill* telah dilakukan dengan menggunakan metode BPNN-GA (Razfar dan Zadeh, 2009). Penelitian tersebut menggunakan material *glass fiber-reinforced plastics* (GFRP). Rancangan eksperimen pada penelitian tersebut menggunakan faktorial 3 x 3 x 3 x 2. Parameter proses yang divariasikan adalah kecepatan spindel, kecepatan makan dan kedalaman pemakanan yang masing-masing memiliki tiga level, sedangkan alur pahat *end mill* memiliki dua level. Respon yang diamati adalah kekasaran permukaan dan delaminasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil optimasi adalah 1,28% untuk kekasaran permukaan dan 4,02% untuk delaminasi.

Penelitian yang membahas tentang optimasi respon pada proses *laser brazing* (LB) telah dilakukan dengan menggunakan metode BPNN-GA (Rong dkk., 2015). Penelitian tersebut menggunakan material baja galvanis DP590. Rancangan eksperimen pada penelitian tersebut menggunakan Taguchi matriks ortogonal L₂₅. Parameter proses yang divariasikan adalah *welding speed* (WS), *wire feed rate* (WF) dan *gap* (GAP) yang masing-masing memiliki lima level. Respon yang diamati adalah hasil sambungan pengelasan yang meliputi panjang sambungan sisi kiri, kanan, atas dan bawah dari baja galvanis DP590. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil optimasi adalah sebesar 7,65%.

Penelitian yang membahas tentang optimasi respon pada proses *injection molding* telah dilakukan dengan menggunakan metode BPNN-GA (Li dkk., 2017). Penelitian tersebut menggunakan material *fiber-reinforced composite* (FRC). Rancangan eksperimen pada penelitian tersebut menggunakan Taguchi matriks ortogonal L₂₅. Parameter proses yang divariasikan adalah *fiber aspect ratio*, *fiber content*, *melt temperature*, *mold temperature* dan *holding pressure* yang masing-masing memiliki lima level. Respon yang diamati adalah *warping*. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil optimasi adalah sebesar 7,03%.

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dilakukan penelitian tentang pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Penelitian dilakukan agar dapat menghasilkan sol karet dengan respon kekuatan tarik dan perpanjangan putus yang memenuhi spesifikasi. Metode optimasi multi respon yang akan digunakan pada penelitian ini adalah BPNN-GA. Penggunaan metode BPNN-GA bertujuan untuk mendapatkan eror antara hasil optimasi dan hasil eksperimen menjadi sekecil mungkin, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk dan mengurangi biaya kerugian yang terjadi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana arsitektur jaringan BPNN yang dapat menghasilkan nilai *mean square error* (MSE) terkecil untuk memprediksi kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari sol karet pada proses vulkanisasi.
2. Bagaimana pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan, agar dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari sol karet.
3. Berapa besarnya penurunan biaya kerugian apabila level-level dari parameter proses vulkanisasi menggunakan pengaturan dari hasil optimasi.

1.2.1 Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proses vulkanisasi di CV. XYZ Sidoarjo.
2. Parameter proses vulkanisasi yang divariasikan adalah suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan.
3. Parameter respon yang diamati adalah kekuatan tarik dan perpanjangan putus.

4. Rancangan eksperimen menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial $3 \times 3 \times 3$ dengan replikasi 3 kali.
5. Fungsi objektif untuk masing-masing parameter respon memiliki bobot yang sama.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan pada proses vulkanisasi beroperasi dengan baik.
2. Pelaksanaan proses vulkanisasi dilakukan dengan menggunakan mesin *hot press* yang dioperasikan oleh operator yang dianggap memiliki kemampuan yang sama dan sesuai dengan prosedur.
3. Bahan karet yang digunakan pada proses vulkanisasi memiliki komposisi yang sama.
4. Peralatan uji yang digunakan untuk pengujian sol karet telah terkalibrasi dan beroperasi dengan baik.
5. Interaksi antar parameter proses vulkanisasi diabaikan.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui arsitektur jaringan BPNN yang dapat menghasilkan nilai *mean square error* (MSE) terkecil untuk memprediksi kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari sol karet pada proses vulkanisasi.
2. Mengetahui pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan, agar dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari sol karet.
3. Mengetahui besarnya penurunan biaya kerugian apabila level-level dari parameter proses vulkanisasi menggunakan pengaturan dari hasil optimasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat-manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan pengetahuan tentang proses vulkanisasi pada sol karet yang membahas pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik dan perpanjangan putus.
2. Memberikan masukan kepada CV. XYZ untuk melakukan perbaikan kualitas produk dan mengurangi biaya kerugian yang terjadi.
3. Sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan tentang proses vulkanisasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karet

Karet adalah bahan polimer alam yang diperoleh dari pohon karet jenis *hevea brasiliensis*. Pohon karet jenis *hevea brasiliensis* termasuk dalam genus *hevea* dari familia *euphorbiaceae*. Karet telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan sepatu, sandal, ban, pelampung, karpet dan berbagai produk lainnya. Karet yang berwujud cair disebut dengan lateks atau getah karet. Lateks terdapat di dalam pembuluh-pembuluh yang letaknya menyebar secara melingkar di bagian luar lapisan kambium dari pohon karet. Lateks dapat diperoleh dengan cara membuka atau menyayat lapisan korteks pada pohon karet. Penyayatan lapisan korteks disebut dengan proses penyadapan (Suwandi dkk., 2015). Lateks memiliki karakteristik yaitu berwarna putih dengan kadar karet kering antara 20-25% dan bersifat kurang mantap sehingga harus segera diolah secepat mungkin (Vijayaram, 2009).

Pada umumnya terdapat dua jenis karet yaitu karet alam dan karet sintetis. Karet alam adalah karet yang diperoleh secara langsung dari pohon karet. Sedangkan karet sintetis adalah karet yang membutuhkan minyak mentah dalam proses pembuatannya. Setiap jenis karet memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Kelebihan dari karet alam apabila dibandingkan dengan karet sintetis adalah memiliki elastisitas yang tinggi, memiliki plastisitas yang baik sehingga dapat dengan mudah untuk diolah, memiliki daya aus yang tinggi, tidak mudah panas dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan. Meskipun demikian karet sintetis juga memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap berbagai zat kimia (Syakir dkk., 2010).

Karet merupakan salah satu komoditi perkebunan yang penting bagi Indonesia. Komoditi karet dapat dijadikan sebagai sumber pendapatan dan devisa negara dari ekspor non migas. Perkembangan karet di Indonesia baik dari segi produksi dan luas areal cenderung meningkat setiap tahunnya sejak tahun 1980 hingga 2014. Produksi karet di Indonesia diperkirakan akan mengalami

peningkatan sebesar 3,56% setiap tahunnya. Sedangkan permintaan karet di Indonesia diperkirakan akan mengalami peningkatan sebesar 3,62% setiap tahunnya. Luas areal karet di Indonesia didominasi oleh perkebunan rakyat yaitu sekitar 84%. Indonesia merupakan negara penghasil karet terbesar kedua di dunia setelah Thailand. Meskipun Indonesia berada pada posisi kedua sebagai negara penghasil karet di dunia, Indonesia hanya berada pada posisi kelima sebagai negara eksportir karet di dunia dengan kontribusi sebesar 3,81% (Suwandi dkk., 2015).

2.2 Proses Vulkanisasi

Proses vulkanisasi sangat mempengaruhi sifat fisik dan sifat kimia barang jadi karet. Mutu produk karet yang baik yaitu dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hal tersebut dapat diperoleh dengan mempelajari dan menggunakan proses vulkanisasi yang tepat. Karakterisasi vulkanisasi memberikan informasi mengenai waktu pra vulkanisasi, waktu pemasangan, laju vulkanisasi dan modulus torsi untuk proses vulkanisasi yang diberikan pada suhu pemasakan yang diinginkan. Pada kondisi tertentu kadar bahan yang terlibat langsung pada proses vulkanisasi tidak lebih dari 0,5-5% berat keseluruhan campuran. Proses vulkanisasi menjadi kunci keseluruhan pada teknologi karet. Proses vulkanisasi memegang peranan yang sangat penting pada pembentukan sifat fisik dan sifat kimia yang diinginkan (Chandrasekaran, 2010).

Pada proses vulkanisasi sifat karet yang pada awalnya plastis akan berubah menjadi elastis, mantap dan kuat dengan cara menambahkan sejumlah aditif atau bahan tambahan. Pembentukan ikatan silang antara belerang dan akselerator adalah proses vulkanisasi yang paling banyak digunakan pada industri barang jadi karet. Proses yang dipakai untuk membentuk ikatan silang yang dijumpai oleh atom belerang antara lain sistem donor belerang, sistem konvensional, sistem semi efisien dan sistem efisien. Proses vulkanisasi tanpa belerang adalah dengan uretan, peroksida, amina, resin khusus dan iradiasi yang digunakan secara spesifik pada elastomer khusus atau elastomer umum untuk mendapatkan sifat khusus (Mark dkk., 2013).

Proses vulkanisasi disebut dengan istilah *curing*. *Curing* merupakan proses pengaplikasian tekanan dan panas terhadap campuran karet dan bahan kimia

untuk menurunkan plastisitas dan meningkatkan elastisitas, kekuatan dan kemantapan. *Curing* menyebabkan molekul karet yang panjang dan saling terkait diubah menjadi struktur tiga dimensi melalui pembentukan ikatan silang atau *crosslinking* secara kimia. Pada proses vulkanisasi digunakan bahan kimia yang dapat bereaksi dengan gugus aktif pada molekul karet untuk membentuk ikatan silang antar molekul. Bahan kimia ini dikenal dengan istilah *curing agent* (Mark dkk., 2013).

Bahan utama yang digunakan pada *curing agent* adalah belerang atau sulfur. Ikatan silang akan terbentuk lebih cepat jika sulfur dikombinasikan dengan bahan akselerator dan bahan lainnya. Bahan lain yang dapat digunakan sebagai *curing agent* untuk menghasilkan karet dengan membentuk ikatan silang sulfur adalah sulfur donor seperti *tetramethylthiuram disulfide* (TMTD) atau *4,4-dithiodimorpholine* (DTDM). Proses vulkanisasi karet jenuh dan karet tidak jenuh menggunakan peroksida. Sedangkan proses vulkanisasi *kloropren*, *fluorokarbon*, *bromobutil* dan lain-lain menggunakan *zinc oxide* (ZnO) dan *magnesium oxide* (MgO) (Mark dkk., 2013).

Bahan kimia lain yang digunakan pada proses vulkanisasi karet dikenal dengan istilah akselerator. Penggunaan akselerator bertujuan untuk mengontrol mulainya vulkanisasi, laju vulkanisasi dan reaksi lanjut antara belerang dan karet pada proses vulkanisasi. Bahan kimia yang digunakan sebagai akselerator ini jumlahnya sedikit dan digunakan bersama dengan belerang untuk mempercepat proses vulkanisasi. Peningkatan laju pematangan atau *curing rate* dapat dilakukan dengan menambahkan aktivator pada proses vulkanisasi. Kombinasi ZnO dan asam stearat umumnya dipakai sebagai aktivator pada proses vulkanisasi yang menggunakan belerang. Bahan penting lainnya adalah *retarder* yang merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menunda waktu pra vulkanisasi atau mencegah terjadinya vulkanisasi prematur. *Retarder* ini biasanya disebut dengan *prevulcanization inhibitor* (PVI) yang tidak mempengaruhi laju vulkanisasi tetapi hanya menghambat tahap awal proses vulkanisasi (Mark dkk., 2013).

2.3 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum terjadinya perpatahan atau *fracture*. Nilai kekuatan tarik maksimum ditentukan dari tegangan maksimum dibagi dengan luas penampang. Beberapa material memiliki kekuatan tarik yang berbeda-beda. Hal tersebut bergantung pada sifat mekanis yang dimilikinya. Satuan SI dari kekuatan tarik adalah mega pascal (MPa) (Callister, 2007). Berikut ini adalah persamaan dari kekuatan tarik.

$$T_s = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (2.1)$$

Dengan:

T_s = kekuatan tarik

F_{\max} = tegangan maksimum

A_0 = luas penampang awal

2.4 Perpanjangan Putus

Perpanjangan putus adalah kemampuan material menahan deformasi hingga terjadinya perpatahan. Perpanjangan putus tidak memiliki satuan sehingga biasa dinyatakan dalam persen (%). Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran perpanjangan putus material yaitu persentase perpanjangan putus dan persentase reduksi penampang (Callister, 2007).

a. Persentase Perpanjangan Putus

$$E = \left(\frac{L_f - L_0}{L_0} \right) \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan:

E = perpanjangan putus

L_f = panjang akhir benda uji (pada saat putus)

L_0 = panjang awal benda uji

b. Persentase Reduksi Penampang

$$R = \left(\frac{A_f - A_0}{A_0} \right) \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan:

R = reduksi penampang

A_f = luas penampang akhir

A_0 = luas penampang awal

2.5 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen adalah suatu prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan atau memperoleh data pada penelitian. Suatu rancangan eksperimen memiliki beberapa unsur yang berpengaruh terhadap hasil eksperimen (Hanafiah, 2003). Unsur-unsur tersebut adalah sebagai berikut:

a. Perlakuan

Perlakuan adalah suatu tindakan yang diterapkan pada unit percobaan. Perlakuan merupakan faktor yang ingin diteliti dalam suatu eksperimen.

b. Unit Eksperimen

Unit eksperimen adalah objek dalam eksperimen yang diberikan suatu perlakuan.

c. Satuan Amatan

Satuan amatan adalah bagian dari unit eksperimen yang merupakan tempat dimana pengukuran respon dilakukan.

d. Metode Rancangan Eksperimen

Metode rancangan eksperimen harus disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Selain itu, metode rancangan eksperimen yang digunakan harus menunjang tahapan-tahapan selanjutnya pada suatu penelitian. Beberapa metode rancangan eksperimen antara lain faktorial, Taguchi dan *response surface methodology* (RSM). Pada penelitian ini digunakan metode rancangan eksperimen faktorial untuk menunjang kecukupan data pada tahapan penerapan metode prediksi respon dengan menggunakan BPNN (Hanafiah, 2003).

2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan atau *artificial neural network* (ANN) adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan syaraf biologi. Pada tahun 1940 ilmuwan menemukan bahwa psikologi otak sama dengan cara kerja komputer. Pemrograman komputer dibuat sesuai dengan cara kerja dari

otak manusia ini yang disebut sebagai ANN, namun sampai sekarang ini belum ada yang dapat menyamai kemampuan otak manusia. Pemodelan dengan ANN ini telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang. Alasan dipilihnya metode ANN ini adalah dapat menyelesaikan fungsi dengan parameter *input* dan *output* yang lebih kompleks (Basuki, 2003).

ANN ini juga mempunyai kelebihan dimana bisa mengatasi beberapa persoalan tanpa mengadakan perubahan drastis terhadap modelnya dan waktu penyelesaiannya yang cepat. Kelebihan yang lain adalah metode ini tidak perlu adanya asumsi bahwa data harus berdistribusi normal serta metode ini juga mempunyai ketelitian yang cukup tinggi. Namun, pemodelan dengan ANN ini juga mempunyai kelemahan dalam ekstrapolasi. Kelemahan ini dapat diatasi dengan mengambil lebih banyak contoh data pada tempat dimana ekstrapolasi terjadi (Cheng, 2012).

Ada beberapa model arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam ANN, misalnya jaringan model *hebb*, *perceptron*, *adaline* dan *backpropagation*. *Backpropagation neural network* (BPNN) dibentuk dengan membuat generalisasi aturan pelatihan dalam model *widrow-hoff* dengan cara menambahkan layer tersembunyi. Kata *backpropagation* merujuk pada cara bagaimana gradien perubahan bobot dihitung (Siang, 2009).

BPNN terdiri dari *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*, dimana masing-masing *layer* memiliki sejumlah *neuron* yang saling terhubung antar *layer* memiliki bobot. Hasil *output* BPNN didasarkan pada pengalaman saat melakukan proses pelatihan (*training*). Proses pelatihan BPNN diawali dengan memberikan nilai bobot awal. Informasi yang sudah diketahui hasilnya dimasukkan ke dalam *neuron* pada *input layer*. Bobot-bobot ini digunakan untuk mengingat pola informasi yang telah diberikan. Pengaturan bobot diatur secara terus menerus sampai diperoleh hasil yang diharapkan. Tujuan pelatihan BPNN adalah untuk mencapai kemampuan memanggil kembali secara sempurna sebuah pola yang telah dipelajari dan menghasilkan nilai *output* yang bisa diterima terhadap pola-pola yang serupa yang disebut sebagai generalisasi (Siang, 2009).

Kinerja pelatihan BPNN akan dipengaruhi oleh penentuan arsitektur jaringan BPNN dan algoritma pembelajaran. Tidak ada teori yang dengan pasti

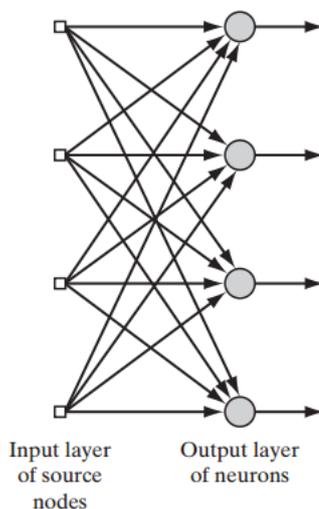
dapat digunakan tetapi secara praktis dicoba arsitektur jaringan yang kecil terlebih dahulu misal terdiri dari satu *layer* tersembunyi. Jika kesalahan tidak turun dalam *epoch* yang besar, maka jaringan diperbesar dengan menambahkan unit tersembunyi atau bahkan menambahkan *layer* tersembunyi (Siang, 2009).

2.7 Arsitektur Jaringan

Neuron-neuron dalam jaringan syaraf membentuk suatu struktur tertentu. Arsitektur jaringan yang umum digunakan pada ANN dibedakan menjadi dua, yaitu jaringan layar tunggal (*single layer network*) dan jaringan layar jamak (*multi layer network*) (Haykin, 2009).

a. Jaringan Layar Tunggal

Pada jaringan ini, sekumpulan *input neuron* dihubungkan langsung dengan sekumpulan *output*. Gambar 2.1 menunjukkan arsitektur jaringan tunggal. Pada jaringan ini, semua unit *input* dihubungkan dengan semua unit *output* meskipun dengan bobot yang berbeda. Pada jaringan ini tidak ada unit *input* yang dihubungkan dengan unit *input* lainnya (Haykin, 2009).

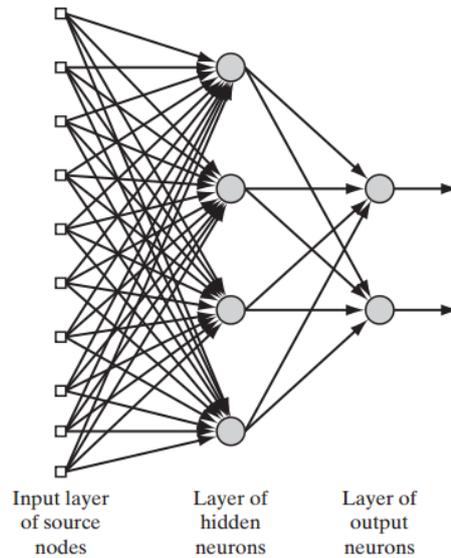


Gambar 2.1 Jaringan layar tunggal
(Sumber: Haykin, 2009)

b. Jaringan Layar Jamak

Jaringan layar jamak merupakan perkembangan dari jaringan layar tunggal. Pada jaringan ini, selain unit *input* dan unit *output*, ada unit lain yang disebut

dengan layar tersembunyi (*hidden layer*). Jaringan layar jamak dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih kompleks dibandingkan dengan jaringan layar tunggal meskipun dibutuhkan waktu yang lebih lama. Gambar 2.2 menunjukkan arsitektur jaringan layar jamak (Haykin, 2009).



Gambar 2.2 Jaringan layar jamak
(Sumber: Haykin, 2009)

2.8 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi yang digunakan pada BPNN harus memenuhi beberapa syarat yaitu kontinyu, terdiferensial dengan mudah dan merupakan fungsi yang tidak turun. Salah satu fungsi yang memenuhi ketiga syarat tersebut sehingga sering digunakan adalah fungsi *sigmoid biner* yang memiliki interval 0 sampai 1 (Siang, 2009). Fungsi *sigmoid biner* adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.4)$$

$$f'(x) = f(x)(1 - f(x)) \quad (2.5)$$

Selain fungsi *sigmoid biner*, terdapat fungsi yang disebut dengan *sigmoid bipolar*. Fungsi *sigmoid bipolar* memiliki kesamaan dengan fungsi *sigmoid biner*. Fungsi *sigmoid bipolar* memiliki interval -1 sampai 1 (Siang, 2009). Fungsi *sigmoid bipolar* adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (2.6)$$

$$f'(x) = \frac{(1+f(x))(1-f(x))}{2} \quad (2.7)$$

Nilai maksimum yang dimiliki fungsi *sigmoid* adalah satu. Untuk pola yang tergetnya lebih besar dari satu, pola masukan dan keluaran harus terlebih dahulu ditransformasikan sehingga polanya memiliki interval yang sama seperti fungsi *sigmoid* yang digunakan. Alternatif lain dengan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid* hanya pada layar keluaran yang lazimnya digunakan fungsi identitas yaitu $f(x) = x$ (Siang, 2009).

2.9 Pelatihan Standar BPNN

Pelatihan BPNN dilakukan untuk melatih jaringan yang digunakan. Tujuannya adalah untuk meminimalkan kesalahan rata-rata atau *mean square error* (MSE). Pelatihan BPNN meliputi tiga fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari layar masukan hingga layar keluaran dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan merupakan kesalahan yang terjadi. Kesalahan tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layar keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi (Siang, 2009).

- Fase I (Propagasi Maju)

Selama propagasi maju, sinyal masukan (x_i) dipropagasikan ke lapis tersembunyi dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Keluaran dari setiap unit lapis tersembunyi (z_j) tersebut selanjutnya dipropagasikan maju lagi ke lapis tersembunyi di atasnya dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Demikian seterusnya hingga menghasilkan keluaran jaringan (y_k). Berikutnya, keluaran jaringan (y_k) dibandingkan dengan target yang harus dicapai (t_k). Selisih $t_k - y_k$ adalah kesalahan yang terjadi. Jika kesalahan ini lebih kecil dari batas toleransi yang ditentukan, maka iterasi akan dihentikan. Akan tetapi apabila kesalahan masih lebih besar dari batas toleransinya, maka bobot setiap garis dalam jaringan akan dimodifikasi untuk mengurangi kesalahan yang terjadi (Siang, 2009).

- Fase II (Propagasi Mundur)

Berdasarkan kesalahan $t_k - y_k$, dihitung faktor δ_k ($k = 1, 2, \dots, m$) yang digunakan untuk mendistribusikan kesalahan di unit y_k ke semua unit tersembunyi yang terhubung langsung dengan y_k . δ_k juga dipakai untuk mengubah bobot garis yang menghubungkan langsung dengan unit keluaran. Dengan cara yang sama, dihitung δ_j di setiap unit di lapis tersembunyi sebagai dasar perubahan bobot semua garis yang berasal dari unit tersembunyi di lapis di bawahnya. Demikian seterusnya hingga faktor δ di unit tersembunyi yang berhubungan langsung dengan unit masukan dihitung (Siang, 2009).

- Fase III (Perubahan Bobot)

Setelah semua faktor δ dihitung, bobot semua garis dimodifikasi bersamaan. Perubahan bobot suatu garis didasarkan atas faktor δ_{neuron} di lapis di atasnya. Sebagai contoh, perubahan bobot garis yang menuju ke lapis keluaran didasarkan pada dasar δ_k yang ada di unit keluaran. Ketiga fase tersebut diulang-ulang secara terus menerus hingga kriteria pemberhentian terpenuhi. Pada umumnya kondisi pemberhentian yang sering digunakan adalah jumlah iterasi atau kesalahan. Iterasi akan dihentikan jika jumlah iterasi yang dilakukan sudah melebihi jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan atau jika kesalahan yang terjadi sudah lebih kecil dari batas toleransi yang dikehendaki (Siang, 2009).

2.10 Arsitektur Jaringan BPNN

Permasalahan utama yang dihadapi BPNN adalah lamanya iterasi yang harus dilakukan. BPNN tidak dapat memberikan kepastian tentang berapa *epoch* yang harus dilalui untuk mencapai kondisi yang diinginkan (Siang, 2009).

a. Pemilihan Bobot dan Bias Awal

Pemilihan inisialisasi bobot akan mempengaruhi apakah jaringan mencapai galat pada minimum global atau lokal. Perubahan bobot antara kedua unit tergantung pada kedua turunan fungsi aktivasi unit di atas dan unit di bawahnya. Hal penting yang harus dihindari adalah pemilihan bobot awal yang akan membuat fungsi aktivasi atau turunannya menjadi nol. Jika bobot awal terlalu

besar, masukan awal ke tiap unit tersembunyi atau keluaran akan berada pada daerah di mana turunan fungsi *sigmoid* memiliki nilai sangat kecil (disebut daerah jenuh). Sebaliknya jika bobot terlalu kecil, sinyal masukan pada unit tersembunyi atau keluaran akan mendekati nol yang menyebabkan pelatihan jaringan akan sangat lambat. Prosedur umum adalah menginisialisasi bobot dengan nilai acak antara -0,5 dan 0,5 atau -1 dan 1, atau pada rentang nilai lain yang sesuai. Nilai bisa positif atau negatif karena bobot pada akhir pelatihan juga memiliki kedua tanda tersebut (Siang, 2009).

b. Jumlah Unit Tersembunyi

Hasil teoritis yang didapat menunjukkan bahwa jaringan dengan sebuah lapis tersembunyi sudah cukup bagi BPNN untuk mengenali kesesuaian antara masukan dan target dengan tingkat ketelitian yang ditentukan. Akan tetapi penambahan jumlah layer tersembunyi seringkali membuat pelatihan lebih mudah. Semakin banyak layer tersembunyi yang digunakan, maka jaringan akan mampu menangani jangkauan statistik yang lebih luas dan tinggi. Jumlah lapisan yang terlalu banyak bisa menyebabkan laju konvergensi menjadi lebih lambat. Hal ini disebabkan sinyal galat berkurang secara numerik jika melewati terlalu banyak lapisan dan lapisan tambahan cenderung menciptakan minimum lokal (Siang, 2009).

c. Jumlah Pola Pelatihan

Tidak ada kepastian tentang berapa banyak pola yang diperlukan agar jaringan dapat dilatih dengan sempurna. Jumlah pola yang dibutuhkan dipengaruhi oleh banyaknya bobot dalam jaringan serta tingkat akurasi yang diharapkan. Umumnya data yang digunakan untuk *training* adalah 70%, untuk validasi adalah 15% dan untuk *testing* adalah 15% (Siang, 2009).

d. Parameter Laju Pembelajaran

Parameter laju pembelajaran (*learning rate*) sangat berpengaruh pada proses pelatihan. Begitu pula terhadap efektivitas dan kecepatan mencapai konvergensi dari pelatihan. Nilai optimum dan *learning rate* tergantung pada permasalahan yang diselesaikan, prinsipnya dipilih sedemikian rupa sehingga tercapai konvergensi yang optimal dalam proses pelatihan. Nilai *learning rate* yang cukup kecil menjamin penurunan gradien terlaksana dengan baik, namun

akan berakibat pada bertambahnya jumlah iterasi. Pada umumnya besarnya nilai laju pembelajaran tersebut dipilih mulai 0,001 sampai 1 selama proses pelatihan (Siang, 2009).

e. Momentum

Selain koefisien laju pembelajaran, ada koefisien lain yang bertujuan untuk mempercepat konvergensi dari algoritma eror BPNN. Penggunaan koefisien momentum ini disarankan apabila konvergensi berlangsung terlalu lama dan juga untuk mencegah terjadinya lokal minimum. Dengan penambahan momentum, bobot baru pada waktu ke $t + 1$ didasarkan atas bobot pada waktu t dan $t - 1$ (Siang, 2009).

2.11 Pre-processing Data Eksperimen

Pre-processing data eksperimen digunakan untuk normalisasi data eksperimen yang memiliki satuan dan interval yang berbeda-beda menjadi data yang non-dimensional dengan interval -1 sampai 1 (Razfar dan Zadeh, 2009). Rumus untuk melakukan *pre-processing* data eksperimen adalah sebagai berikut:

$$p_n = \frac{2(p - \min(p))}{(\max(p) - \min(p))} - 1 \quad (2.8)$$

Dengan:

p = data parameter proses dan respon dari eksperimen

p_n = data normalisasi parameter proses dan respon dari eksperimen

2.12 Perhitungan Hasil Prediksi BPNN

Perhitungan nilai persentase eror dari selisih data eksperimen dengan hasil prediksi BPNN adalah sebagai berikut (Rong dkk., 2015):

$$\text{Error} = \frac{\text{Eksp} - \text{BPNN}}{\text{Eksp}} - 100\% \quad (2.9)$$

Dengan:

Eksp = nilai respon hasil eksperimen

BPNN = nilai respon hasil prediksi BPNN

Perhitungan nilai *mean square error* (MSE) dari data eksperimen dengan hasil peramalan BPNN adalah sebagai berikut (Tzeng dan Chen, 2013):

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.10)$$

Dengan:

y_i = nilai respon hasil eksperimen

\hat{y}_i = nilai respon hasil prediksi BPNN

2.13 Metode *Genetic Algorithm* (GA)

Penentuan nilai optimasi dari suatu persamaan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Metode optimasi yang dapat digunakan adalah secara analitis dan numerik, yang diuraikan sebagai berikut (Kreyszig, 2011):

- Secara Analitis

Penentuan optimasi dilakukan dengan cara mendeferensialkan persamaan tersebut. Contoh penggunaan metode analitis adalah pada suatu persamaan dengan satu variabel, misalnya x yang mempunyai fungsi sebagai berikut:

$$f(x) = x^2 - 2x + 1 \quad (2.11)$$

Dalam metode analitis, untuk menemukan titik minimum x pada fungsi di atas adalah dengan menganggap bahwa gradien dari $f(x)$ sama dengan nol.

$$f'(x) = 0 \rightarrow 2x - 2 = 0 \quad (2.12)$$

Sehingga didapatkan hasil dari persamaan tersebut, yaitu $x = 1$. Hasil dari x disubstitusikan pada deferensial kedua dari persamaan untuk mengetahui dengan pasti nilai minimumnya.

$$f''(x) = 2 \rightarrow 2 > 0 \quad (2.13)$$

- Secara Numerik

Optimasi secara numerik dilakukan dengan cara iterasi. Langkah pertama adalah menentukan nilai awal yang digunakan dalam iterasi. Kemudian menerapkannya pada persamaan tersebut. Iterasi akan berhenti jika:

$$f(x^{k+1}) - f(x^k) < \varepsilon_1 \text{ atau } f'(x^k) < \varepsilon_2 \quad (2.14)$$

Dimana k adalah jumlah iterasi dan ε adalah nilai batas toleransi atau kriteria ketelitian yang ditentukan. Salah satu metode perhitungan secara numerik adalah metode newton. Pada metode ini deferensiasi pertama maupun kedua

dari persamaan dibutuhkan dalam perhitungan, dimana perhitungan didasarkan pada persamaan berikut:

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f'(x^k)}{f''(x^k)} \quad (2.15)$$

Sebagai contoh apabila pada persamaan (2.11) dihitung dengan menggunakan metode newton, maka sebagai langkah awal ditentukan nilai x awal pada iterasi pertama.

Iterasi 1:

Nilai awal: $x^1 = 3$

$$x^2 = x^1 - \frac{f'(x^1)}{f''(x^1)}$$

$$x^2 = x^1 - \frac{2x-2}{2}$$

$$x^2 = 3 - \frac{2(3)-2}{2}$$

$x^2 = 1$ sehingga $x^2 \neq x^1$

Iterasi 2:

Nilai awal: $x^2 = 1$

$$x^3 = x^2 - \frac{f'(x^2)}{f''(x^2)}$$

$$x^3 = x^2 - \frac{2x-2}{2}$$

$$x^3 = 1 - \frac{2(1)-2}{2}$$

$x^3 = 1$ sehingga $x^3 \neq x^2$

Dengan menggunakan metode numerik ini, nilai minimum didapatkan pada iterasi yang kedua.

Kelemahan dari metode analitis, jika persamaan $f(x)$ adalah persamaan yang lebih kompleks, maka dibutuhkan beberapa tahapan perhitungan. Selain itu, jika variabel yang digunakan lebih dari satu (x_1, x_2 dan seterusnya), metode analitis sulit digunakan. Dengan demikian, metode numerik lebih efektif digunakan dibandingkan dengan metode analitis untuk persamaan-persamaan yang kompleks karena tahapan perhitungan dapat diminimalkan. Namun kelemahan pada metode numerik, khususnya metode newton adalah dibutuhkan diferensiasi pada persamaan. Jika data yang didapat sangatlah kompleks maka metode diferensial akan sulit untuk digunakan karena dimungkinkan hanya diperoleh titik optimum

lokal saja bukan titik optimum global. GA merupakan metode yang dinilai efektif untuk menyelesaikan masalah dengan data-data yang kompleks (Santosa dan Willy, 2011).

Secara umum GA adalah metode untuk menyelesaikan masalah optimasi berdasarkan prinsip bertahan dalam evolusi. Hal ini dapat dilakukan dengan menciptakan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu dimana setiap individu mempresentasikan kromosom seperti yang terdapat pada DNA manusia. Individu-individu pada populasi tersebut kemudian mengalami proses evolusi. GA adalah salah satu teknik pencari secara acak yang sangat strategis, dimana dapat bertahan untuk menemukan penyelesaian yang optimal atau mendekati optimal pada persamaan *non-linier* yang kompleks (Santosa dan Willy, 2011). Tahapan-tahapan GA untuk menentukan titik optimum adalah sebagai berikut:

1. Membangkitkan Populasi Awal

Populasi awal atau kromosom-kromosom awal dibangkitkan secara random. Evaluasi nilai setiap individu di dalam populasi awal ini dengan menggunakan fungsi *fitness*. Menentukan ukuran populasi, probabilitas kawin silang dan probabilitas mutasi (Santosa dan Willy, 2011).

2. Melakukan pemilihan individu terbaik untuk disalin sejumlah tertentu untuk menggantikan individu lain.
3. Melakukan seleksi kompetitif untuk memilih anggota populasi sebagai induk untuk kawin silang.
4. Melakukan kawin silang antar induk yang dipilih.
5. Menentukan beberapa individu dalam populasi untuk mengalami proses mutasi.
6. Apabila belum mencapai konvergensi, maka kembali ke langkah dua.
7. Menghentikan algoritma apabila kriteria telah terpenuhi.

Perhitungan untuk menentukan optimasi dengan GA dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. GA memanipulasi populasi untuk memperoleh kondisi optimum. Dalam setiap langkah, GA menyeleksi secara acak dari populasi yang ada untuk menentukan yang akan menjadi orang tua dan menggunakannya untuk menghasilkan keturunan (*offspring*) pada generasi berikutnya. Pada setiap generasi, kesesuaian orang tua atau individu dalam populasi dievaluasi. Beberapa individu dipilih dari populasi mereka berdasarkan dari

kesesuaian mereka dalam fungsi *fitness* dan diubah (direkomendasikan dan mungkin bermutasi secara acak) untuk membentuk suatu populasi baru. Populasi baru itu kemudian digunakan untuk iterasi selanjutnya dalam algoritma. Biasanya, algoritma akan berhenti ketika jumlah maksimum dari generasi telah dihasilkan atau tingkat kesesuaian yang telah ditentukan terpenuhi untuk populasi tersebut. Langkah utama untuk menciptakan generasi berikutnya dari populasi adalah sebagai berikut (Martiana, 2011).

a. Seleksi

Memilih individu yang disebut dengan orang tua, yang akan menghasilkan populasi di generasi berikutnya. Proses seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk dilakukan rekombinasi dan bagaimana individu baru (*offspring*) terbentuk dari individu-individu terpilih tersebut. Metode seleksi dalam pemilihan individu dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut (Martiana, 2011).

- *Roulette Wheel Selection* (RWS)

Roulette wheel selection merupakan metode penyeleksian individu secara probabilistik berdasarkan performansi tiap individu. Seleksi RWS dilakukan seperti pembuatan piringan *roulette* yang memiliki *slot-slot* (Martiana, 2011).

- *Stochastic Universal Sampling* (SUS)

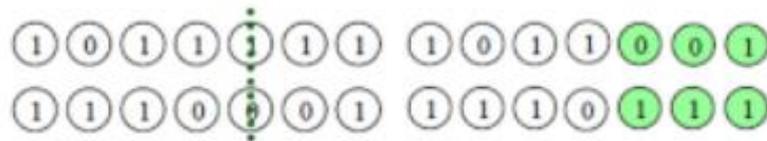
Sama seperti *roulette wheel selection*, *stochastic universal sampling* dengan menggunakan N buah *pointer* dengan spasi sama pada segmen garis tempat probabilitas individu diseleksi dipetakan, dimana N adalah jumlah individu terseleksi yang diharapkan (Martiana, 2011).

b. Proses Pindah Silang (*Crossover*)

Prinsip dari pindah silang adalah melakukan operasi pada gen-gen yang bersesuaian dari induk yang terpilih untuk menghasilkan individu yang baru. Proses *crossover* dilakukan pada setiap individu secara acak dengan probabilitas *crossover* yang sudah ditentukan. Operator *crossover* bergantung pada representasi kromosom yang dilakukan. Ada dua model *crossover* dengan representasi kromosom, yaitu dengan *crossover* satu titik dan *crossover* lebih dari satu titik atau banyak titik (Martiana, 2011).

- *Crossover* Satu Titik

Crossover satu titik biasanya digunakan untuk representasi kromosom dalam biner dan posisi *crossover* k ($k = 1, 2, \dots, N - 1$), dengan N adalah panjang kromosom yang diseleksi secara random. Variabel-variabel ditukar antar kromosom pada titik tersebut untuk menghasilkan keturunan baru (*offspring*) (Martiana, 2011). Model *crossover* satu titik dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3.

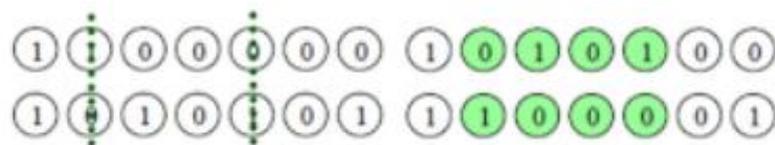


Gambar 2.3 Model *crossover* satu titik

(Sumber: Martiana, 2011)

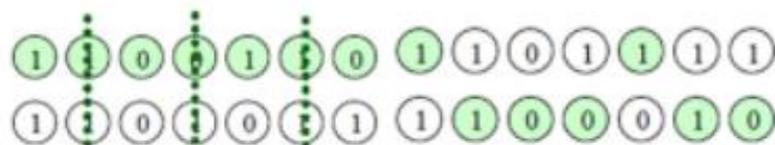
- *Crossover* Banyak Titik

Model *crossover* banyak titik, posisi *crossover* k ($k = 1, 2, \dots, N - 1, i = 1, 2, \dots, m$), dengan N adalah panjang kromosom yang diseleksi secara random dan posisi tidak dibolehkan ada yang sama, serta diurutkan naik. Variabel-variabel ditukar antar kromosom pada titik tersebut untuk menghasilkan keturunan baru (*offspring*) (Martiana, 2011). Model *crossover* dua titik dan banyak titik masing-masing dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Model *crossover* dua titik

(Sumber: Martiana, 2011)



Gambar 2.5 Model *crossover* banyak titik

(Sumber: Martiana, 2011)

c. Proses Mutasi (*Mutation*)

Operator genetika berikutnya adalah mutasi gen. Operator ini berguna untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi. Kromosom anak dimutasi dengan cara menambahkan nilai random yang sangat kecil dengan probabilitas yang rendah. Peluang mutasi (P_m) didefinisikan sebagai persentase dari jumlah total gen pada populasi yang mengalami proses mutasi. Peluang mutasi mengendalikan banyaknya gen baru yang nanti dimunculkan untuk dievaluasi. Apabila peluang mutasi terlalu kecil dapat mengakibatkan banyak gen yang mungkin berguna tidak pernah dievaluasi. Jika peluang mutasi terlalu besar dapat mengakibatkan terlalu banyak gangguan acak, sehingga keturunan baru yang dihasilkan akan kehilangan kemiripan dari induknya dan dapat juga menghilangkan kemampuan algoritma untuk belajar dari histori pencarian (Martiana, 2011).

2.14 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan langkah lanjutan yang dilakukan setelah diperoleh nilai respon hasil optimasi. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap nilai respon hasil optimasi. Nilai respon hasil optimasi akan dibandingkan dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi (Ross, 1996). Perbandingan kedua nilai tersebut dilakukan dengan menggunakan pengujian *one-sample t*. Hipotesis yang digunakan pada pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

$$H_0: \mu = \mu_0 \quad (2.16)$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0 \quad (2.17)$$

Dengan:

μ_0 = nilai respon hasil optimasi

α = 5% = 0,05

H_0 ditolak apabila $P_{value} < \alpha$, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi. H_0 gagal ditolak apabila $P_{value} > \alpha$, hal tersebut menunjukkan bahwa

terdapat kesamaan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi.

2.15 Pengendalian Proses

Pengendalian proses secara statistik dilakukan melalui metode peta kendali dan analisis kemampuan proses. Pada pengendalian proses secara statistik dikenal dua jenis data antara lain sebagai berikut (Montgomery, 2009).

a. Data Atribut

Data atribut merupakan data kualitatif yang dapat dihitung untuk pencatatan dan analisis. Data atribut bersifat diskrit. Jika suatu catatan hanya merupakan suatu ringkasan atau klasifikasi yang berkaitan dengan sekumpulan persyaratan yang telah ditetapkan, maka catatan itu disebut dengan atribut (Montgomery, 2009).

b. Data Variabel

Data variabel merupakan data yang kuantitatif yang diukur menggunakan alat pengukuran tertentu, dimana data variabel digunakan untuk keperluan pencatatan dan analisis. Jika suatu catatan dibuat berdasarkan keadaan aktual, diukur secara langsung, maka catatan itu disebut dengan variabel (Montgomery, 2009).

Analisis kemampuan proses dinyatakan dalam indeks kemampuan proses atau *process capability index* (C_p), yang membandingkan rentang spesifikasi produk terhadap kemampuan proses. Analisis kemampuan proses dilakukan untuk melihat tingkat kepresisian dan keakurasian dari suatu proses. Terdapat asumsi pada saat melakukan analisis kemampuan proses, yaitu proses dilakukan pada kondisi terkendali dan kemampuan proses memiliki nilai 6σ . C_p menunjukkan tingkat kepresisian dari suatu proses, sedangkan C_{pk} menyatakan tingkat keakurasian dari suatu proses. Persamaan berikut menunjukkan perhitungan untuk C_p dan C_{pk} (Montgomery, 2009).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.18)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}\right) \quad (2.19)$$

Dengan:

USL = batas spesifikasi atas

LSL = batas spesifikasi bawah

σ = deviasi standar

\bar{x} = rata-rata kelompok

2.16 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian

Perhitungan penurunan biaya kerugian dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Taguchi loss function*. Tujuan dari metode *Taguchi loss function* adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variansi. Distribusi hasil pengukuran CTQ diharapkan dapat mengurangi variansi dan mendekati target spesifikasi. Biaya kerugian yang ditimbulkan oleh ketidaksesuaian kualitas produk terhadap spesifikasi produk meliputi kerugian dalam proses dan kerugian usia pemakaian. Secara sistematis, metode *Taguchi loss function* merumuskan hubungan antara kualitas dengan biaya kerugian sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Ross, 1996).

Tabel 2.1 Perhitungan *Taguchi Loss Function*

Karakteristik Kualitas	Kerugian pada Setiap Produk	Kerugian Rata-Rata per Produk dalam Distribusi
<i>Higher is better</i>	$L = k(1/y^2)$	$L = k\left(\frac{1}{\bar{y}^2}\right)\left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2}\right)$
<i>Nominal is the best</i>	$L = k(y - m)^2$	$L = k(s^2 + (\bar{y} - m)^2)$
<i>Lower is better</i>	$L = k(y^2)$	$L = k(s^2 + \bar{y}^2)$

Sumber: Ross, 1996

Dengan:

L = kerugian

m = nilai nominal (target)

k = konstanta yang nilainya ditentukan berdasarkan biaya pada batas spesifikasi dan lebar spesifikasi

y = pengukuran karakteristik kualitas aktual

s^2 = variansi

\bar{y} = nilai rata-rata y dalam kelompok

$(\bar{y} - m)$ = selisih rata-rata kelompok terhadap target

Nilai k diperoleh dari biaya perbaikan (A_0) dikalikan dengan signifikansi spesifikasi (Δ_0) kuadrat, seperti ditunjukkan pada persamaan berikut (Yang dan El-Halik, 2003).

$$k = A_0 \Delta_0^2 \quad (2.20)$$

2.17 Posisi Penelitian

Posisi penelitian merupakan perbandingan antara suatu penelitian dengan penelitian sejenis yang telah ada sebelumnya. Posisi penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penelitian-penelitian yang sudah dilakukan. Posisi penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Posisi Penelitian

No	Peneliti	Metode	Proses dan Material	Parameter Proses	Parameter Respon	Hasil Penelitian
1	Razfar dan Zadeh, 2009	BPNN-GA	Proses <i>end mill</i> pada material GFRP	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan spindel • Kecepatan makan • Kedalaman pemakanan • Alur pahat 	<ul style="list-style-type: none"> • Kekasaran Permukaan • Delaminasi 	BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror sebesar 1,28% untuk kekasaran permukaan dan 4,02% untuk delaminasi.
2	Hayajneh dkk., 2011	BPNN	Proses gurdi pada material MMC	<ul style="list-style-type: none"> • Persentase tembaga • Persentase silikon karbida 	<ul style="list-style-type: none"> • Momen torsi • Gaya tekan 	BPNN mampu memprediksi nilai respon dengan persentase eror sebesar 2,03% untuk momen torsi dan 3,46% untuk gaya tekan.
3	Tzeng dan Chen, 2013	BPNN-GA dan RSM	Proses EDM pada baja campuran jenis JIS SKD 61	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Pulse off time</i> • <i>Arc off time</i> • <i>Servo voltage</i> • <i>Wire feed rate</i> • <i>Wire tension</i> • <i>Water pressure</i> • <i>Pulse on time</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Kekasaran Permukaan • MRR 	Respon optimal yang dihasilkan oleh metode BPNN-GA lebih baik dibandingkan dengan metode RSM.

Tabel 2.2 Posisi Penelitian (Lanjutan)

No	Peneliti	Metode	Proses dan Material	Parameter Proses	Parameter Respon	Hasil Penelitian
4	Rong dkk., 2015	BPNN-GA	Proses <i>laser brazing</i> pada baja galvanis DP590	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Welding speed</i> • <i>Wire feed rate</i> • <i>Gap</i> 	Hasil sambungan pengelasan	BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil optimasi adalah sebesar 7,65%.
5	Li dkk., 2017	BPNN-GA	Proses <i>injection molding</i> pada material FRC	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fiber aspect ratio</i> • <i>Fiber content</i> • <i>Melt temperature</i> • <i>Mold temperature</i> • <i>Holding pressure</i> 	<i>Warpage</i>	BPNN-GA dapat menghasilkan respon optimal dengan persentase eror antara hasil eksperimen dan hasil optimasi adalah sebesar 7,03%.

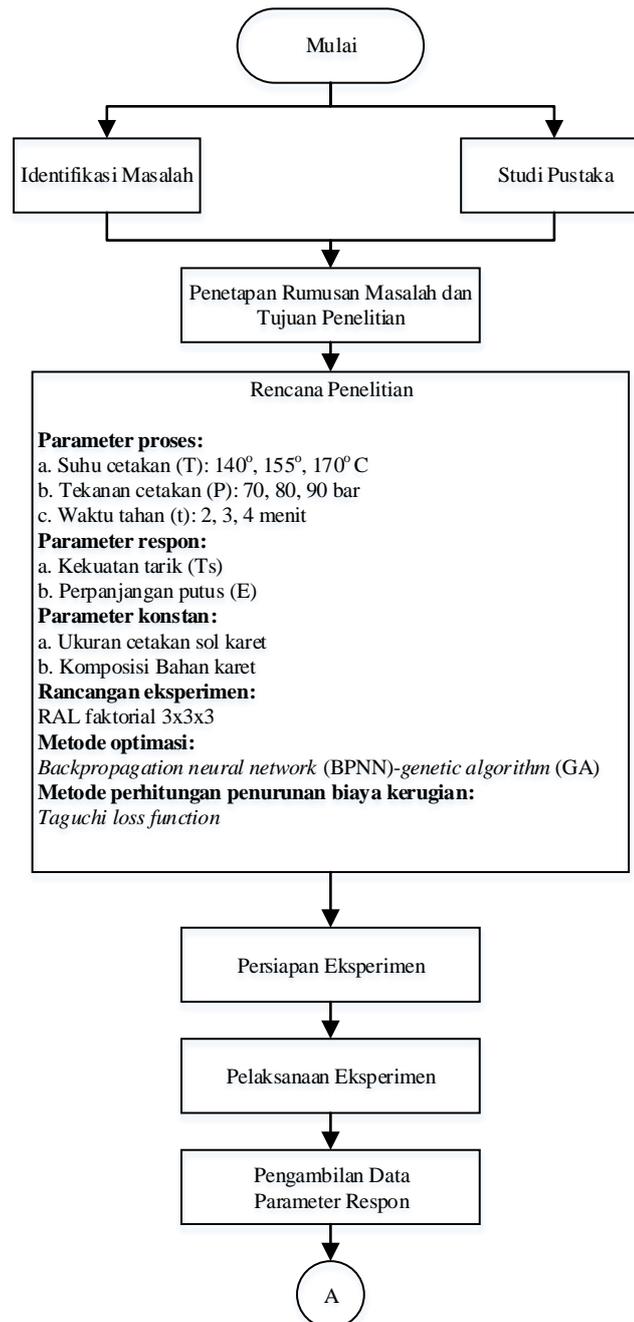
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

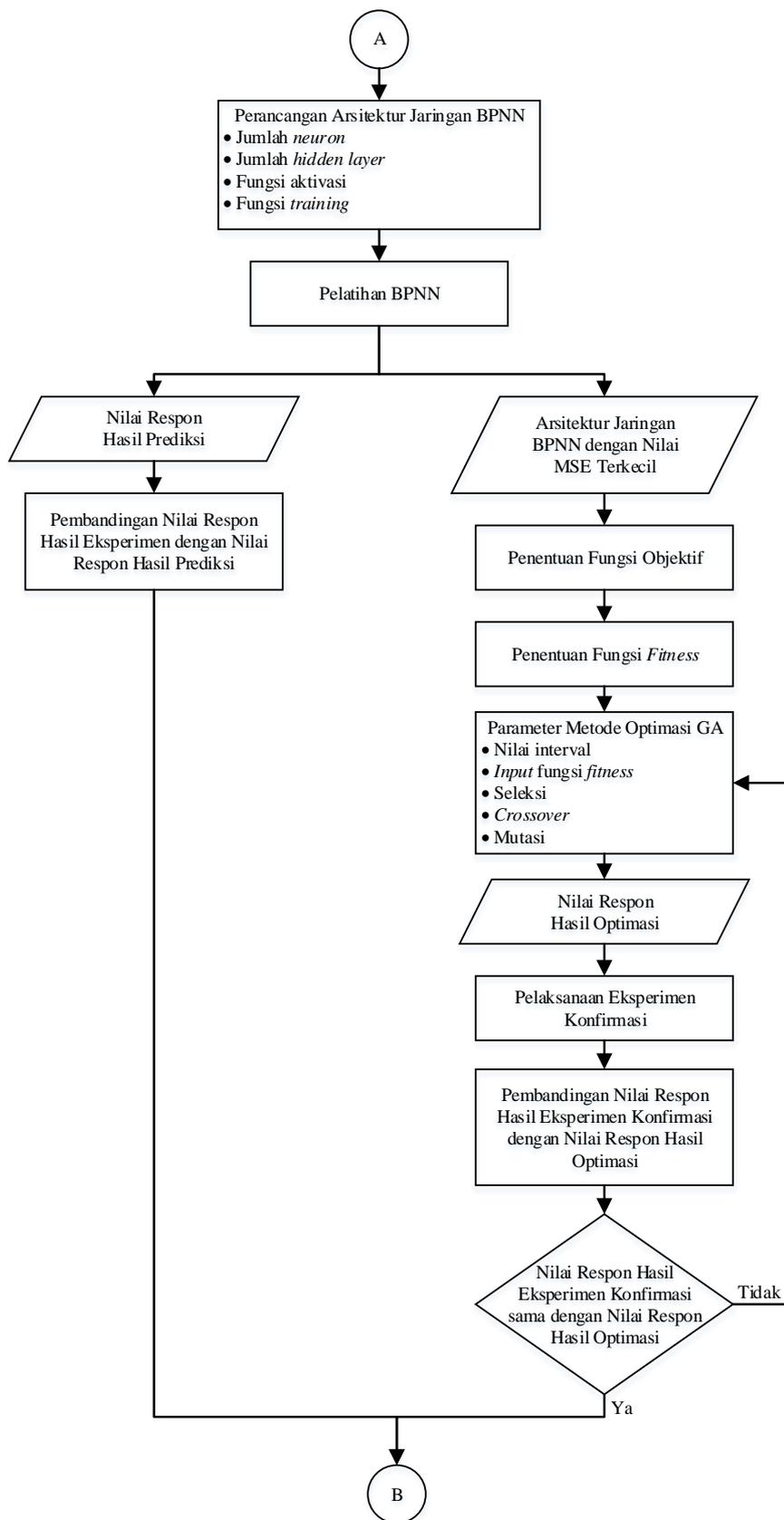
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

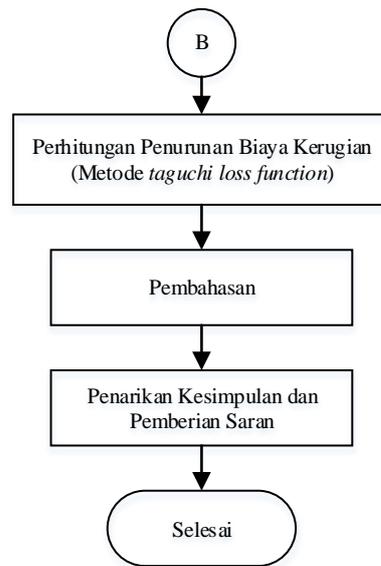
Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian (lanjutan)

3.2 Parameter Penelitian

Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter Proses

Parameter proses merupakan parameter yang nilainya dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan tujuan penelitian yang dilakukan. Parameter proses yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Suhu cetakan (T): 140°, 155°, 170° C
- b. Tekanan cetakan (P): 70, 80, 90 bar
- c. Waktu tahan (t): 2, 3, 4 menit

2. Parameter Respon

Parameter respon merupakan parameter yang nilainya dapat diamati pada penelitian. Parameter respon yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kekuatan tarik (Ts)
- b. Perpanjangan putus (E)

3. Parameter Konstan

Parameter konstan merupakan parameter yang tidak diteliti pada penelitian. Nilai parameter ini dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama eksperimen

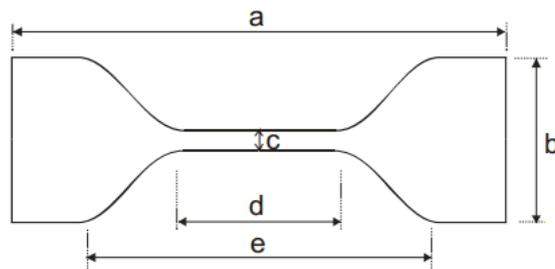
berlangsung sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan.

Parameter konstan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Ukuran cetakan sol karet
- b. Komposisi bahan karet yang ditunjukkan pada Lampiran 2.

3.3 Unit Eksperimen

Unit eksperimen pada penelitian ini adalah sol karet dengan komposisi bahan yang ditunjukkan pada lampiran 2. Sol karet yang merupakan hasil proses vulkanisasi akan dilakukan pengujian tarik untuk memperoleh respon berupa kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Pengujian tarik pada sol karet menggunakan spesimen uji yang menjadi satuan amatan pada penelitian ini. Ukuran spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Ukuran spesimen uji

(Sumber: SNI 0778-2009)

Dengan:

$$a = 75 \pm 1 \text{ mm}$$

$$b = 25 \pm 1 \text{ mm}$$

$$c = 3 \pm 0,1 \text{ mm}$$

$$d = 25 \pm 0,5 \text{ mm}$$

$$e = 50 \pm 1 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal spesimen uji} \leq 2 \text{ mm}$$

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin *Hot Press*

Mesin *hot press* adalah mesin yang digunakan untuk melakukan proses vulkanisasi. Pada mesin tersebut dapat dilakukan pengaturan level-level dari

parameter proses, yaitu suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Mesin *hot press* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin *hot press*

(Sumber: <https://www.yexinmachinery.com>)

2. Mesin *Splitter*

Mesin *splitter* adalah salah satu mesin yang digunakan untuk mempersiapkan spesimen uji. Mesin ini berfungsi untuk mengurangi ketebalan spesimen uji sesuai dengan ukuran pada Gambar 3.2. Mesin *splitter* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin *splitter*

(Sumber: <http://www.shoemachinery.com>)

3. Mesin Pemotong

Mesin pemotong adalah salah satu mesin yang digunakan untuk mempersiapkan spesimen uji. Mesin ini berfungsi untuk memotong spesimen

uji sesuai dengan ukuran pada Gambar 3.2. Mesin pemotong yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mesin pemotong

(Sumber: <http://www.shoemachinery.com>)

4. Alat Pengukur Ketebalan

Alat pengukur ketebalan merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mempersiapkan spesimen uji. Alat ini berfungsi untuk mengukur ketebalan spesimen uji apakah sudah sesuai dengan ukuran pada Gambar 3.2 atau tidak. Alat pengukur ketebalan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Alat pengukur ketebalan

(Sumber: <https://www.satrap.com>)

5. Mesin Zwick/Roell Z005

Mesin Zwick/Roell Z005 adalah mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian tarik pada sol karet yang merupakan hasil dari proses vulkanisasi dengan ukuran spesimen tertentu. Pada mesin tersebut akan didapatkan

parameter respon yaitu kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Mesin Zwick/Roell Z005 yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mesin Zwick/Roell Z005
(Sumber: <https://www.zwick.com>)

3.5 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen pada penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial 3 x 3 x 3 dengan replikasi 3 kali. Tabel RAL faktorial 3 x 3 x 3 dengan replikasi 3 kali ditunjukkan pada Lampiran 3. Parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan merupakan perlakuan atau faktor. Masing-masing faktor memiliki tiga level. Parameter proses dan masing-masing level ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Proses dan Masing-Masing Level

Parameter Proses			Level 1	Level 2	Level 3
A	Suhu Cetakan	°C	140	155	170
B	Tekanan Cetakan	bar	70	80	90
C	Waktu Tahan	menit	2	3	4

3.6 Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan di CV. XYZ Sidoarjo. Eksperimen dimulai dengan mempersiapkan lembaran karet yang telah melalui beberapa tahapan proses produksi, yaitu proses *compounding* atau penentuan komposisi bahan karet, proses *mixing* atau pencampuran dan proses *cutting* atau pemotongan. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan sesuai dengan Tabel 3.1. Urutan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi mengikuti tabel RAL faktorial 3 x 3 x 3 dengan replikasi 3 kali pada Lampiran 3. Setelah melalui proses vulkanisasi, maka akan didapatkan sol karet dengan jumlah 81 unit.

Langkah selanjutnya adalah mempersiapkan spesimen uji yang akan digunakan pada pengujian tarik. Ukuran spesimen uji mengacu pada Gambar 3.2. Persiapan spesimen uji meliputi pengurangan ketebalan sol karet dengan menggunakan mesin *splitter*, pemotongan sol karet dengan menggunakan mesin pemotong dan pengukuran ketebalan sol karet dengan menggunakan alat pengukur ketebalan. Apabila ukuran spesimen uji sudah sesuai dengan Gambar 3.2, maka dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin Zwick/Roell Z005. Pada mesin tersebut akan didapatkan parameter respon yaitu kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Data-data parameter respon yang telah diperoleh tersebut disimpan di dalam komputer dan selanjutnya akan dilakukan penerapan metode optimasi multi respon yaitu BPNN-GA.

3.7 Pengukuran Data Parameter Respon

Pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus dilakukan dengan pengujian tarik menggunakan mesin Zwick/Roell Z005. Mesin ini terintegrasi dengan komputer yang secara otomatis menampilkan hasil pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Langkah-langkah pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus adalah sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen uji dengan memastikan kesesuaian ukuran spesimen uji dan spesimen uji dalam kondisi yang bersih dan kering.
2. Persiapan peralatan uji dengan memastikan mesin dalam kondisi siap uji.

3. Pemasangan spesimen uji pada penjepit yang terdapat pada mesin.
4. Pelaksanaan pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus.
5. Penyimpanan data hasil pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus untuk selanjutnya diolah sebagai data parameter respon pada penelitian ini.
6. Pengulangan langkah pertama hingga langkah kelima sebanyak 5 kali.
7. Perhitungan rata-rata hasil pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus.
8. Pengulangan langkah pertama hingga langkah ketujuh sebanyak 81 kali sesuai dengan jumlah sol karet yang didapatkan dari hasil eksperimen.

3.8 Metode BPNN-GA

Metode optimasi pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu metode prediksi nilai respon dengan menggunakan *backpropagation neural network* (BPNN) dan metode optimasi nilai respon dengan menggunakan *genetic algorithm* (GA). Gabungan dari kedua metode ini disebut dengan metode BPNN-GA. Langkah-langkah metode BPNN-GA ditunjukkan pada Gambar 3.8 dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pemasukan data parameter proses dan parameter respon.
2. *Pre-processing* data *input* BPNN. *Pre-processing* digunakan untuk melakukan normalisasi data parameter proses dan parameter respon yang memiliki satuan dan interval yang berbeda-beda menjadi data yang non-dimensional dengan interval -1 sampai 1.
3. Penentuan arsitektur jaringan BPNN.
 - a. Penentuan jumlah *neuron* pada *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*, fungsi aktivasi yang digunakan pada *hidden layer* adalah tansig. Fungsi *training* yang digunakan untuk menyelesaikan arsitektur jaringan BPNN adalah trainlm.
 - b. Penentuan kriteria pemberhentian BPNN. Kriteria pemberhentian tersebut terdiri dari jumlah *epoch* maksimum, nilai performa maksimum, nilai gradien maksimum dan jumlah *epoch* validasi maksimum.
 - c. Inisialisasi nilai bobot dan bias yang digunakan sesuai dengan *default* perangkat lunak Matlab R2015a.

- d. Pemilihan secara acak data *training*, data *testing* dan data validasi berdasarkan persentase yang telah ditetapkan.
 - e. Penentuan laju pembelajaran prediksi BPNN.
4. Pelatihan BPNN untuk mendapatkan nilai MSE terkecil.
 5. Pemeriksaan kriteria pemberhentian pada pelatihan BPNN. Bila salah satu kriteria pemberhentian tersebut belum tercapai, maka pelatihan dilakukan kembali dengan mengulangi langkah ke-4 dengan merubah nilai bobot dan bias berdasarkan fungsi *training*.
 6. *Re-processing* hasil prediksi BPNN dilakukan untuk memperoleh nilai hasil prediksi yang sebenarnya, bukan nilai-nilai dalam interval -1 sampai 1.
 7. Pencatatan hasil prediksi BPNN berupa nilai prediksi respon dan nilai bobot dan bias.
 8. Penentuan fungsi objektif yang diperoleh dari hasil prediksi BPNN. Fungsi objektif dari masing-masing parameter respon didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$z_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \quad (3.1)$$

$$y_k = b_{0k} + \sum_{j=1}^n b_{jk} \left(\left(\frac{2}{1 + e^{-2z_j}} \right) - 1 \right) \quad (3.2)$$

Dengan:

y_k = fungsi objektif masing-masing parameter respon

z_j = fungsi aktivasi masing-masing *neuron* pada *hidden layer*

a = nilai bobot dari *input layer* ke *hidden layer*

a_0 = nilai bias dari *input layer* ke *hidden layer*

b = nilai bobot dari *hidden layer* ke *output layer*

b_0 = nilai bias dari *hidden layer* ke *output layer*

i = parameter proses ke- i

j = *neuron* ke- j pada *hidden layer*

k = parameter respon ke- k

9. Penentuan fungsi *fitness* untuk dimaksimalkan nilainya dengan menggunakan GA. Fungsi *fitness* didapatkan dengan persamaan berikut:

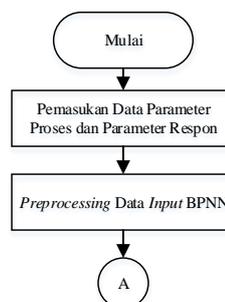
$$\text{Max } F = y_1 + y_2 \quad (3.3)$$

Dengan:

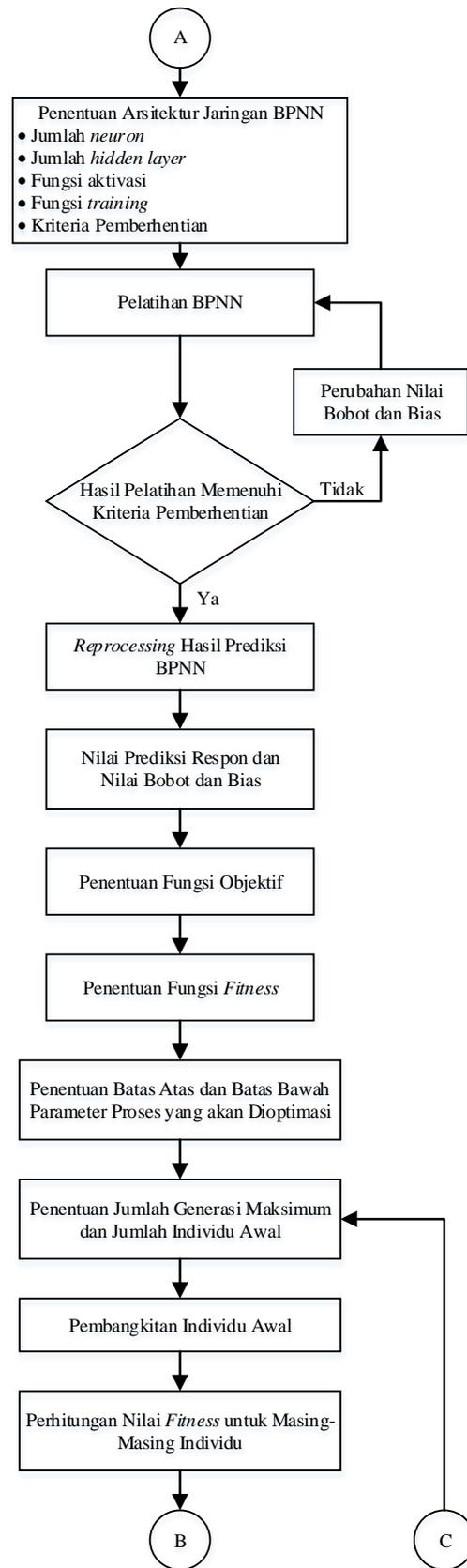
y_1 = fungsi objektif untuk kekuatan tarik

y_2 = fungsi objektif untuk perpanjangan putus

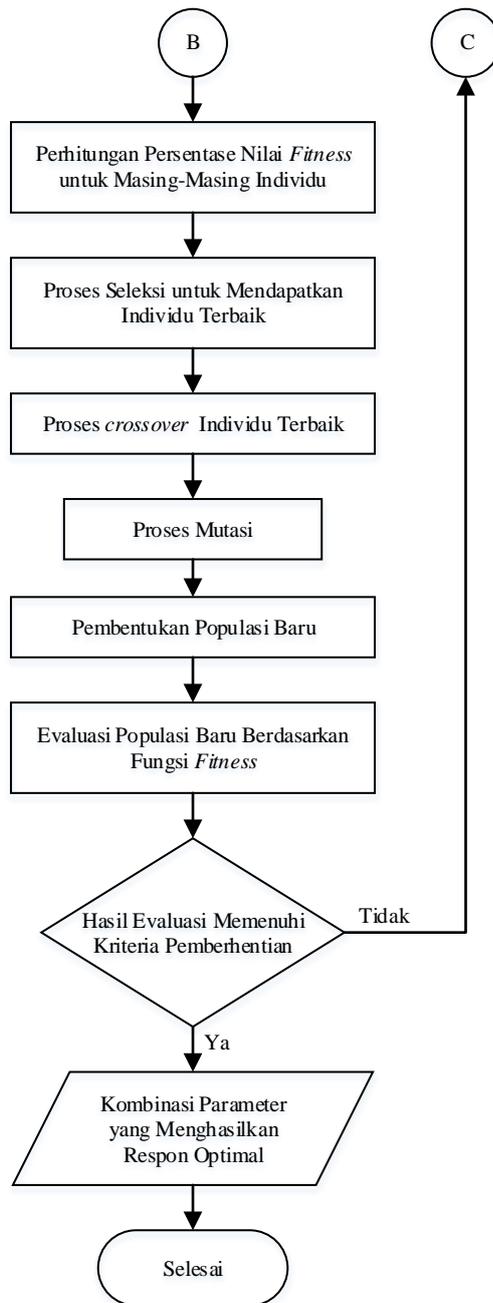
10. Penentuan batas atas dan batas bawah dari parameter proses yang akan dioptimasi menggunakan GA.
11. Penentuan jumlah generasi maksimum dan jumlah individu awal.
12. Pembangkitan individu awal.
13. Perhitungan nilai *fitness* untuk masing-masing individu
14. Perhitungan persentase nilai *fitness* untuk masing-masing individu.
15. Proses seleksi untuk mencari individu terbaik yang akan ditetapkan sebagai orang tua. Proses seleksi dilakukan untuk memberikan kesempatan yang lebih besar bagi anggota populasi yang paling baik untuk terpilih sebagai orang tua.
16. Penyilangan dua individu yang ditetapkan sebagai orang tua. Penyilangan adalah proses mengawinkan dua individu terbaik untuk menghasilkan keturunan baru (*offspring*).
17. Pemutasian untuk melakukan penggantian individu yang hilang akibat proses seleksi.
18. Pembentukan populasi baru hasil dari penyilangan dan mutasi.
19. Evaluasi populasi baru berdasarkan fungsi *fitness*.
20. Pemeriksaan kriteria pemberhentian yang berupa jumlah generasi maksimum. Apabila kriteria pemberhentian sudah tercapai, maka pengaturan level-level dari parameter proses yang menghasilkan respon optimal sudah didapatkan. Namun apabila kriteria pemberhentian belum tercapai, maka dilakukan perhitungan kembali dari langkah ke-11 sampai dengan langkah ke-20.



Gambar 3.8 Langkah-langkah metode BPNN-GA



Gambar 3.8 Langkah-langkah metode BPNN-GA (lanjutan)



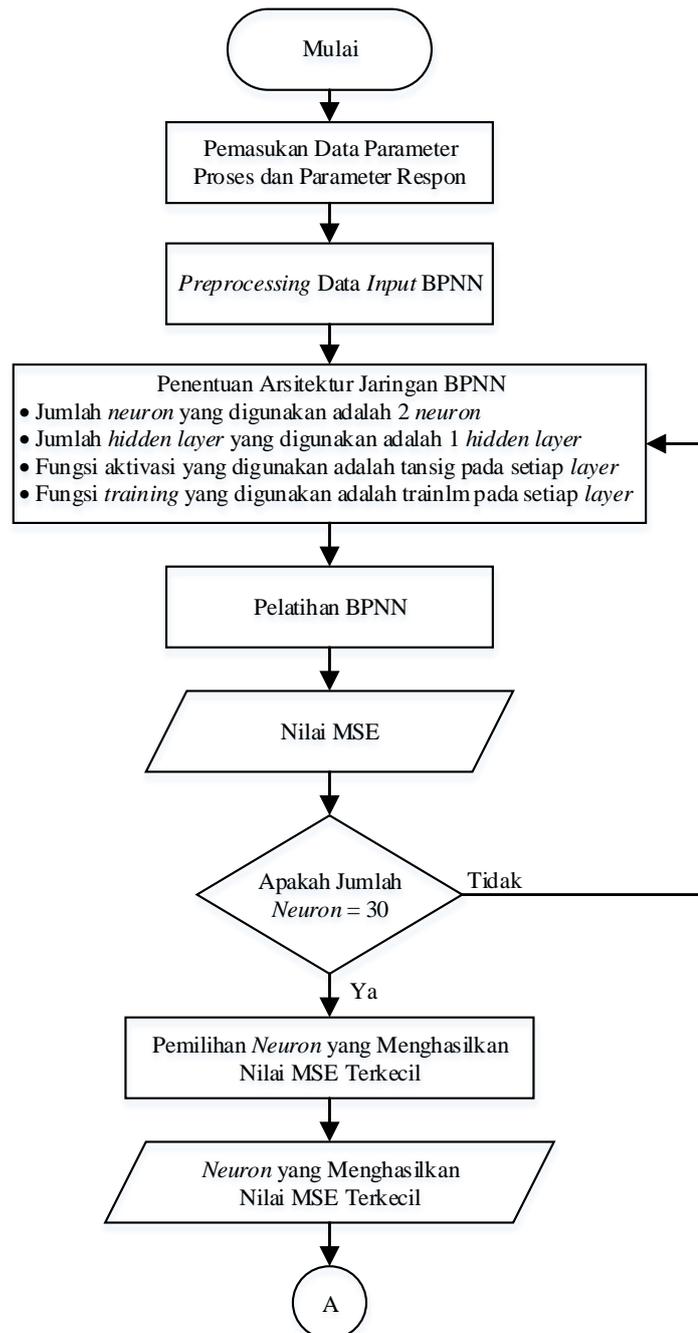
Gambar 3.8 Langkah-langkah metode BPNN-GA (lanjutan)

BPNN dapat menghasilkan nilai prediksi respon dengan tepat apabila arsitektur jaringan BPNN yang digunakan menghasilkan nilai MSE terkecil. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi jaringan BPNN yang meliputi penentuan jumlah *neuron*, jumlah *hidden layer*, fungsi aktivasi yang digunakan pada masing-masing *layer* dan fungsi *training* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9. Langkah-langkah optimasi jaringan BPNN dapat dijelaskan sebagai berikut:

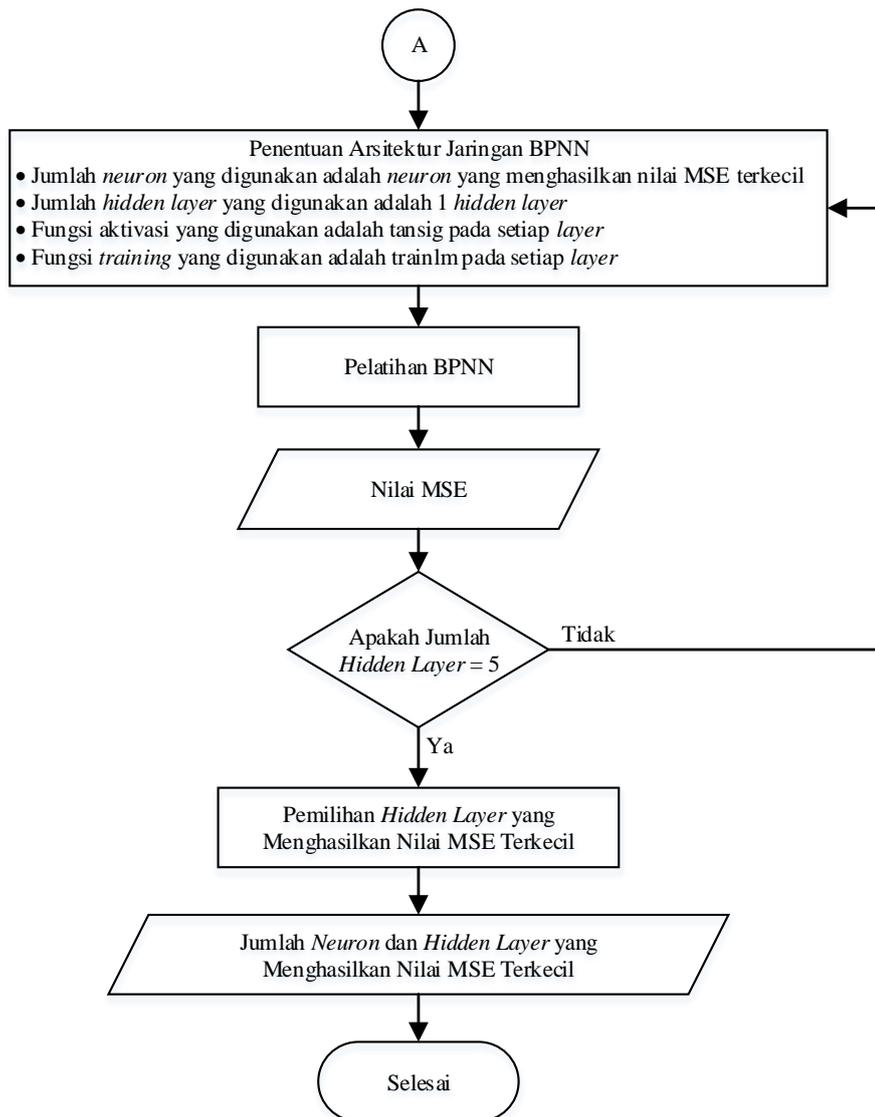
1. Pemasukan data parameter proses dan parameter respon.
2. *Pre-processing* data *input* BPNN. *Pre-processing* digunakan untuk melakukan normalisasi data parameter proses dan parameter respon yang memiliki satuan dan interval yang berbeda-beda menjadi data yang non-dimensional dengan interval -1 sampai 1.
3. Penentuan arsitektur jaringan BPNN yang meliputi:
 - a. Jumlah *neuron* yang digunakan pada setiap *hidden layer* adalah 2 *neuron*.
 - b. Jumlah *hidden layer* yang ditetapkan adalah 1 *hidden layer*.
 - c. Fungsi aktivasi yang digunakan pada setiap *hidden layer* adalah tansig.
 - d. Fungsi *training* yang digunakan untuk menyelesaikan arsitektur jaringan BPNN adalah *trainlm*.
4. Pelatihan BPNN.
5. Pencatatan nilai MSE dari Pelatihan BPNN.
6. Pemeriksaan terhadap jumlah *neuron*. Apabila jumlah *neuron* yang digunakan pada pelatihan BPNN tidak sama dengan 30, maka dilakukan langkah ke-3 hingga langkah ke-6 dengan menambahkan satu *neuron* pada setiap iterasinya. Jika jumlah *neuron* yang digunakan pada pelatihan BPNN sama dengan 30, maka dilakukan pemilihan jumlah *neuron* yang menghasilkan nilai MSE terkecil dari seluruh pelatihan jaringan.
7. Penentuan arsitektur jaringan BPNN yang meliputi:
 - a. Jumlah *neuron* yang digunakan pada setiap *hidden layer* sama dengan jumlah *neuron* yang menghasilkan nilai MSE terkecil dari seluruh pelatihan jaringan.
 - b. *Hidden layer* yang digunakan adalah satu.
 - c. Fungsi aktivasi yang digunakan pada setiap *hidden layer* adalah tansig.
 - d. Fungsi *training* yang digunakan untuk menyelesaikan arsitektur jaringan BPNN adalah *trainlm*.
8. Pelatihan BPNN.
9. Pencatatan nilai MSE dari pelatihan BPNN.
10. Pemeriksaan terhadap jumlah *hidden layer*. Apabila jumlah *hidden layer* yang digunakan pada pelatihan BPNN tidak sama dengan 5, maka dilakukan pengulangan langkah ke-7 hingga langkah ke-10 dengan menambahkan satu

hidden layer pada setiap iterasinya. Jika jumlah *hidden layer* yang digunakan pada pelatihan BPNN sama dengan 5, maka dilakukan pemilihan *hidden layer* yang menghasilkan nilai MSE terkecil dari seluruh pelatihan jaringan.

11. Pencatatan hasil optimasi jaringan BPNN yang berupa jumlah *neuron* dan *hidden layer* yang menghasilkan nilai MSE terkecil dari seluruh pelatihan jaringan.



Gambar 3.9 Langkah-langkah optimasi jaringan BPNN



Gambar 3.9 Langkah-langkah optimasi jaringan BPNN (lanjutan)

3.9 Pelaksanaan Eksperimen Konfirmasi

Pelaksanaan eksperimen konfirmasi dilakukan untuk melakukan validasi terhadap nilai respon hasil optimasi. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi. Kemudian melakukan perbandingan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi. Perbandingan kedua nilai tersebut dilakukan dengan menggunakan pengujian *one-sample t*. Berikut ini merupakan langkah-langkah pelaksanaan eksperimen konfirmasi:

1. Pengambilan sampel sol karet menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi sebanyak 5 unit.
2. Pengukuran nilai respon kekuatan tarik dan perpanjangan putus untuk masing-masing sampel sol karet.
3. Perbandingan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan menggunakan pengujian *one-sample t*. Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil apabila nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi memiliki kesamaan dengan nilai respon hasil optimasi yang ditunjukkan pada hasil pengujian *one-sample t* yaitu P_{value} lebih besar dari 0,05.

3.10 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian

Perhitungan penurunan biaya kerugian pada penelitian ini menggunakan metode *Taguchi loss function*. Nilai variansi proses dan target spesifikasi yang diperoleh dari kemampuan proses pada eksperimen konfirmasi akan digunakan sebagai dasar perhitungan penurunan biaya kerugian. Penurunan variansi proses dan kenaikan target spesifikasi akan berpengaruh pada penurunan biaya kerugian. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan penurunan biaya kerugian dengan metode *Taguchi loss function* ditunjukkan pada Tabel 2.1. Karakteristik spesifikasi dari parameter respon pada penelitian ini adalah semakin tinggi semakin baik atau *higher is better*. Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan penurunan biaya kerugian dengan metode *Taguchi loss function*:

1. Pengumpulan data komponen-komponen biaya pembuatan sol karet.
2. Perhitungan nilai konstanta k.
3. Perhitungan biaya kerugian awal.
4. Perhitungan biaya kerugian setelah menggunakan pengaturan dari hasil optimasi.
5. Perhitungan jumlah penurunan biaya kerugian, yaitu selisih antara biaya kerugian awal dengan biaya kerugian setelah menggunakan pengaturan dari hasil optimasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

OPTIMASI MULTI RESPON DAN PERHITUNGAN PENURUNAN BIAYA KERUGIAN

4.1 Data Hasil Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mengatur level-level parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan (T), tekanan cetakan (P) dan waktu tahan (t) yang berpengaruh terhadap parameter respon, yaitu kekuatan tarik (Ts) dan perpanjangan putus (E). Urutan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi mengikuti tabel RAL faktorial 3 x 3 x 3 dengan replikasi 3 kali ditunjukkan pada Lampiran 3. Pengukuran data parameter respon dilakukan dengan pengujian tarik menggunakan mesin Zwick/Roell Z005. Data hasil eksperimen secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen

No	Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	Kekuatan Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
1	140	70	3	5,448	228,650
2	155	90	4	5,405	215,655
3	170	70	2	5,330	192,645
4	155	70	3	5,125	195,775
5	140	70	2	5,617	202,338
6	140	80	2	5,415	202,325
7	155	90	2	5,306	200,196
8	140	90	2	5,641	202,869
9	140	80	4	5,601	220,399
10	155	70	3	5,237	196,303
11	155	70	4	4,758	182,937
12	155	90	3	5,351	202,253
13	170	80	4	5,166	204,157
14	140	80	2	5,660	208,167
15	140	70	2	5,591	204,857
16	170	70	4	4,436	180,897
17	155	70	2	5,518	196,672

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen (Lanjutan)

No	Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	Kekuatan Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
18	140	70	4	5,092	207,718
19	140	80	3	5,514	211,752
20	155	80	4	5,295	208,293
21	155	80	3	4,911	191,787
22	155	80	4	5,269	213,583
23	170	90	3	4,964	200,681
24	155	70	4	4,645	183,887
25	170	70	2	5,336	191,324
26	170	90	3	4,912	200,124
27	170	80	4	5,077	204,982
28	170	80	4	5,039	205,815
29	155	80	2	5,139	193,555
30	140	80	4	5,662	219,607
31	170	90	2	4,956	197,984
32	140	90	3	5,357	207,944
33	155	90	2	5,426	200,568
34	140	90	4	5,671	217,426
35	140	80	3	5,688	210,050
36	155	70	3	5,089	196,380
37	170	80	3	5,417	203,352
38	140	90	3	5,458	207,813
39	155	90	3	5,350	202,911
40	170	70	4	4,598	176,331
41	155	80	3	4,943	193,895
42	170	80	2	4,989	187,856
43	155	90	3	5,432	203,890
44	140	90	2	5,672	208,791
45	170	70	2	5,464	193,364
46	155	90	4	5,596	213,703
47	170	90	2	5,198	198,289
48	155	70	2	5,445	198,998
49	140	80	4	5,609	221,434
50	155	70	4	4,888	189,194
51	170	90	3	4,995	203,417
52	140	70	3	5,771	231,088
53	140	90	4	5,602	218,599

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen (Lanjutan)

No	Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	Kekuatan Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
54	170	80	2	4,807	183,889
55	170	70	3	5,154	190,703
56	155	80	3	4,869	193,363
57	140	70	2	5,543	206,341
58	170	80	3	5,158	206,967
59	170	90	2	5,373	197,652
60	155	80	2	5,188	195,993
61	170	90	4	5,246	208,378
62	140	90	2	5,612	204,515
63	155	90	2	5,596	201,947
64	155	80	2	5,284	194,853
65	155	80	4	5,454	205,261
66	140	70	4	5,251	211,208
67	140	80	2	5,591	202,018
68	170	70	3	4,993	189,965
69	140	70	3	5,552	232,816
70	170	90	4	5,262	208,278
71	170	80	2	4,790	185,551
72	140	70	4	5,108	210,778
73	155	90	4	5,457	213,766
74	140	90	3	5,410	210,052
75	170	90	4	5,167	208,134
76	170	80	3	5,266	206,951
77	155	70	2	5,669	198,429
78	170	70	3	5,027	188,135
79	140	90	4	5,868	221,244
80	140	80	3	5,223	212,349
81	170	70	4	4,607	178,348

Sumber: Hasil Pengukuran

4.2 Metode Prediksi BPNN

Data yang dijadikan sebagai *input* pada BPNN adalah kombinasi level-level dari parameter proses vulkanisasi yang meliputi suhu cetakan, tekanan cetakan dan waktu tahan. Data yang dijadikan sebagai *output* pada BPNN adalah

data parameter respon, yaitu kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Secara umum tahapan-tahapan pada metode prediksi BPNN adalah sebagai berikut:

- *Pre-processing* (normalisasi) data *input* dan *output*.
- Penentuan arsitektur jaringan BPNN.
- Penentuan kriteria pemberhentian BPNN.
- Pelaksanaan *training*, *testing* dan validasi data.

4.2.1 *Pre-processing* (Normalisasi) Data *Input* dan *Output*

Data yang akan digunakan sebagai *input* dan *output* pada BPNN harus dilakukan normalisasi terlebih dahulu sesuai dengan interval keluaran dari fungsi aktivasi yang digunakan. Proses normalisasi data adalah proses untuk mengubah nilai data menjadi nilai yang besarnya antara -1 sampai 1. Perhitungan normalisasi data *input* dan *output* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$p_n = \frac{2(p - \min(p))}{(\max(p) - \min(p))} - 1 \quad (4.1)$$

Dengan:

p = data parameter proses dan respon dari eksperimen

p_n = data normalisasi parameter proses dan respon dari eksperimen

Contoh perhitungan normalisasi kekuatan tarik untuk seting faktor kombinasi pertama adalah sebagai berikut:

1. Penentuan nilai maksimum dan minimum

Nilai maksimum kekuatan tarik = 5,868 MPa

Nilai minimum kekuatan tarik = 4,436 MPa

2. Perhitungan normalisasi

$$p_n = \frac{2(p - \min(p))}{(\max(p) - \min(p))} - 1$$

$$p_n = \frac{2(5,448 - 4,436)}{(5,868 - 4,436)} - 1$$

$$p_n = 0,413$$

Perhitungan normalisasi data juga dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2015a. Fungsi yang digunakan untuk perhitungan normalisasi data pada perangkat lunak Matlab R2015a adalah fungsi *mapminmax*.

Hasil normalisasi data untuk parameter proses dan parameter respon ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Normalisasi Parameter Proses dan Parameter Respon

No	Suhu Cetakan	Tekanan Cetakan	Waktu Tahan	Kekuatan Tarik	Perpanjangan Putus
1	-1	-1	0	0,413	0,852
2	0	1	1	0,352	0,392
3	1	-1	-1	0,248	-0,422
4	0	-1	0	-0,038	-0,312
5	-1	-1	-1	0,649	-0,079
6	-1	0	-1	0,367	-0,080
7	0	1	-1	0,215	-0,155
8	-1	1	-1	0,683	-0,060
9	-1	0	1	0,626	0,560
10	0	-1	0	0,118	-0,293
11	0	-1	1	-0,550	-0,766
12	0	1	0	0,277	-0,082
13	1	0	1	0,018	-0,015
14	-1	0	-1	0,709	0,127
15	-1	-1	-1	0,612	0,010
16	1	-1	1	-1,000	-0,838
17	0	-1	-1	0,510	-0,280
18	-1	-1	1	-0,084	0,111
19	-1	0	0	0,505	0,254
20	0	0	1	0,199	0,132
21	0	0	0	-0,337	-0,453
22	0	0	1	0,162	0,319
23	1	1	0	-0,263	-0,138
24	0	-1	1	-0,708	-0,732
25	1	-1	-1	0,256	-0,469
26	1	1	0	-0,336	-0,158
27	1	0	1	-0,105	0,014
28	1	0	1	-0,158	0,044
29	0	0	-1	-0,018	-0,390
30	-1	0	1	0,711	0,532
31	1	1	-1	-0,275	-0,233
32	-1	1	0	0,285	0,119
33	0	1	-1	0,382	-0,142

Tabel 4.2 Data Normalisasi Parameter Proses dan Parameter Respon (Lanjutan)

No	Suhu Cetakan	Tekanan Cetakan	Waktu Tahan	Kekuatan Tarik	Perpanjangan Putus
34	-1	1	1	0,724	0,455
35	-1	0	0	0,748	0,194
36	0	-1	0	-0,088	-0,290
37	1	0	0	0,369	-0,043
38	-1	1	0	0,428	0,115
39	0	1	0	0,276	-0,059
40	1	-1	1	-0,774	-1,000
41	0	0	0	-0,292	-0,378
42	1	0	-1	-0,228	-0,592
43	0	1	0	0,390	-0,024
44	-1	1	-1	0,725	0,149
45	1	-1	-1	0,435	-0,397
46	0	1	1	0,619	0,323
47	1	1	-1	0,064	-0,223
48	0	-1	-1	0,409	-0,197
49	-1	0	1	0,638	0,597
50	0	-1	1	-0,369	-0,545
51	1	1	0	-0,220	-0,041
52	-1	-1	0	0,864	0,939
53	-1	1	1	0,628	0,497
54	1	0	-1	-0,482	-0,732
55	1	-1	0	0,002	-0,491
56	0	0	0	-0,395	-0,397
57	-1	-1	-1	0,546	0,063
58	1	0	0	0,008	0,085
59	1	1	-1	0,308	-0,245
60	0	0	-1	0,050	-0,304
61	1	1	1	0,131	0,135
62	-1	1	-1	0,641	-0,002
63	0	1	-1	0,619	-0,093
64	0	0	-1	0,183	-0,344
65	0	0	1	0,421	0,024
66	-1	-1	1	0,138	0,235
67	-1	0	-1	0,613	-0,090
68	1	-1	0	-0,222	-0,517
69	-1	-1	0	0,557	1,000
70	1	1	1	0,153	0,131

Tabel 4.2 Data Normalisasi Parameter Proses dan Parameter Respon (Lanjutan)

No	Suhu Cetakan	Tekanan Cetakan	Waktu Tahan	Kekuatan Tarik	Perpanjangan Putus
71	1	0	-1	-0,506	-0,674
72	-1	-1	1	-0,062	0,220
73	0	1	1	0,426	0,325
74	-1	1	0	0,359	0,194
75	1	1	1	0,021	0,126
76	1	0	0	0,158	0,084
77	0	-1	-1	0,722	-0,218
78	1	-1	0	-0,175	-0,582
79	-1	1	1	1,000	0,590
80	-1	0	0	0,098	0,275
81	1	-1	1	-0,762	-0,929

Sumber: Hasil Perhitungan

4.2.2 Penentuan Arsitektur Jaringan BPNN

BPNN dapat menghasilkan prediksi nilai respon dengan tepat apabila arsitektur jaringan BPNN yang digunakan menghasilkan nilai MSE terkecil. Arsitektur jaringan BPNN yang meliputi jumlah *neuron* dan *hidden layer* ditentukan berdasarkan *trial and error*. Parameter yang divariasikan pada BPNN dibatasi pada kondisi berikut:

- Jumlah *neuron* pada *hidden layer* yaitu 2 sampai 30.
- Jumlah *hidden layer* yaitu 1 hingga 5.
- Fungsi aktivasi pada *hidden layer* adalah tansig karena data normalisasi parameter proses dan parameter respon memiliki interval antara -1 sampai 1.
- Fungsi aktivasi pada *output layer* adalah purelin.
- Fungsi *training* yaitu trainlm (*Levenberg-Marquardt backpropagation*).

Berdasarkan parameter-parameter yang divariasikan, terdapat 29 kombinasi yang akan dihitung nilai MSE-nya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Perhitungan untuk semua kombinasi dilakukan dengan menggunakan *learning rate* sebesar 0,05 dan *performance goal* sebesar 0,0001 (Rong dkk., 2015). Kombinasi jaringan yang dipilih adalah kombinasi jaringan yang menghasilkan

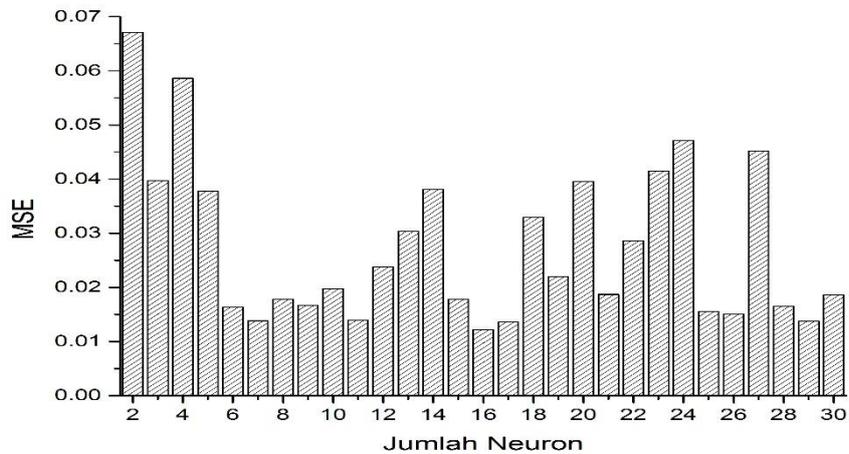
nilai MSE terkecil, yaitu kombinasi nomor 15 yang menggunakan 16 *neuron*.

Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh jumlah *neuron* terhadap nilai MSE.

Tabel 4.3 Kombinasi Parameter BPNN untuk Penentuan Jumlah *Neuron*

Jaringan ke	Jumlah Neuron	Jumlah Hidden Layer	Fungsi Aktivasi	Fungsi Training	MSE
1	2	1	tansig	trainlm	0,0671
2	3	1	tansig	trainlm	0,0397
3	4	1	tansig	trainlm	0,0586
4	5	1	tansig	trainlm	0,0377
5	6	1	tansig	trainlm	0,0164
6	7	1	tansig	trainlm	0,0138
7	8	1	tansig	trainlm	0,0178
8	9	1	tansig	trainlm	0,0167
9	10	1	tansig	trainlm	0,0197
10	11	1	tansig	trainlm	0,0139
11	12	1	tansig	trainlm	0,0238
12	13	1	tansig	trainlm	0,0304
13	14	1	tansig	trainlm	0,0381
14	15	1	tansig	trainlm	0,0178
15	16	1	tansig	trainlm	0,0122
16	17	1	tansig	trainlm	0,0136
17	18	1	tansig	trainlm	0,0329
18	19	1	tansig	trainlm	0,0219
19	20	1	tansig	trainlm	0,0395
20	21	1	tansig	trainlm	0,0187
21	22	1	tansig	trainlm	0,0286
22	23	1	tansig	trainlm	0,0415
23	24	1	tansig	trainlm	0,0472
24	25	1	tansig	trainlm	0,0155
25	26	1	tansig	trainlm	0,0151
26	27	1	tansig	trainlm	0,0451
27	28	1	tansig	trainlm	0,0165
28	29	1	tansig	trainlm	0,0137
29	30	1	tansig	trainlm	0,0186
Nilai MSE Minimum					0,0122

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.1 Pengaruh jumlah *neuron* terhadap nilai MSE

Setelah diperoleh jumlah *neuron* yang menghasilkan nilai MSE terkecil, kemudian dibuat kembali jaringan dengan menambahkan jumlah *hidden layer* dengan jumlah *neuron* tetap sebanyak 16. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai MSE terkecil dapat tercapai dengan menggunakan *hidden layer* yang lebih banyak. Tabel 4.4 menunjukkan 5 kombinasi jaringan dengan penambahan jumlah *hidden layer* pada jumlah *neuron* yang sama.

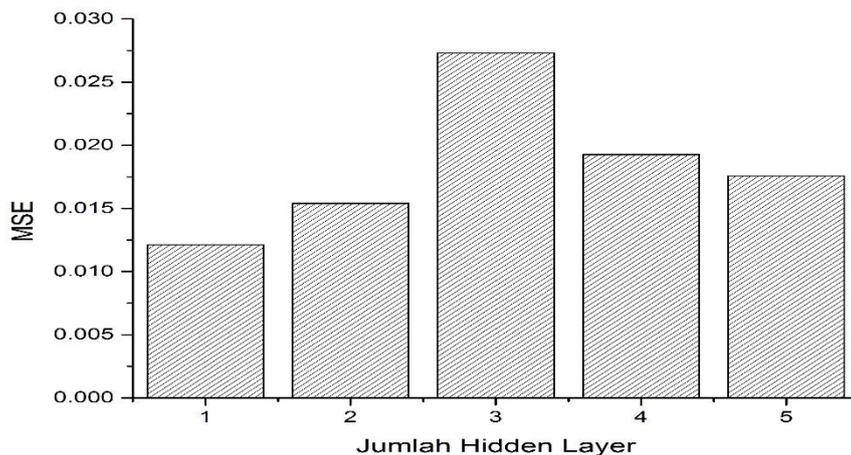
Tabel 4.4 Kombinasi Parameter BPNN untuk Penentuan Jumlah *Hidden Layer*

Jaringan ke	Jumlah Neuron	Jumlah Hidden Layer	Fungsi Aktivasi	Fungsi Training	MSE
1	16	1	tansig	trainlm	0,0122
2	16	2	tansig	trainlm	0,0154
3	16	3	tansig	trainlm	0,0273
4	16	4	tansig	trainlm	0,0193
5	16	5	tansig	trainlm	0,0176
Nilai MSE Minimum					0,0122

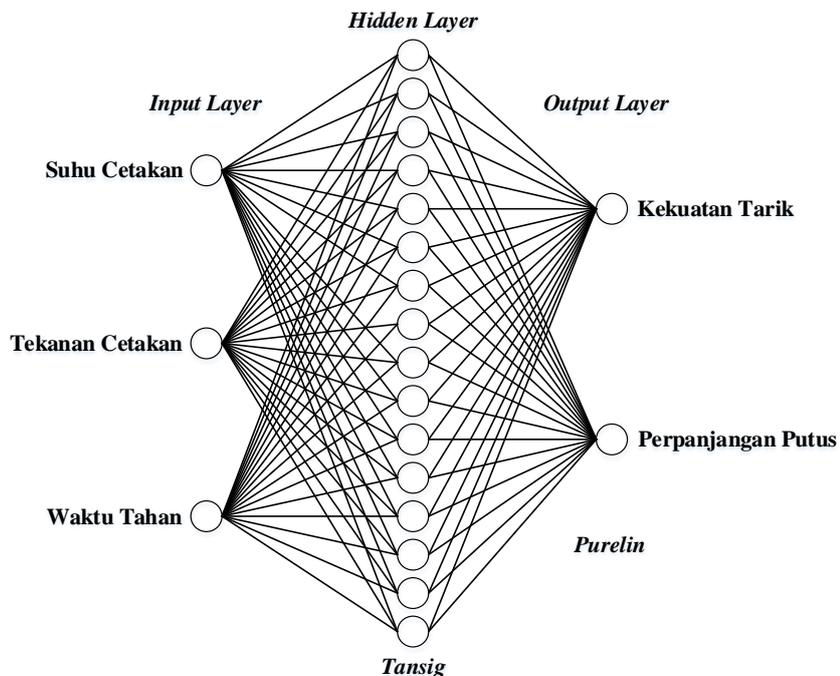
Sumber: Hasil Perhitungan

Kombinasi jaringan yang dipilih adalah kombinasi jaringan yang menghasilkan nilai MSE terkecil, yaitu kombinasi nomor 1 yang menggunakan 1 *hidden layer*. Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh jumlah *hidden layer* terhadap

nilai MSE. Hasil perhitungan untuk menentukan arsitektur jaringan BPNN menunjukkan bahwa nilai MSE terkecil dapat dicapai dengan menggunakan jaringan 3-16-2. Jaringan 3-16-2 memiliki arti bahwa jaringan terdiri dari 3 *neuron* pada *input layer*, 16 *neuron* pada *hidden layer* dan 2 *neuron* pada *output layer*. Arsitektur jaringan BPNN yang terpilih ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Pengaruh jumlah *hidden layer* terhadap nilai MSE



Gambar 4.3 Arsitektur Jaringan BPNN

4.2.3 Penentuan Kriteria Pemberhentian BPNN

Proses pelatihan BPNN akan dihentikan apabila salah satu kriteria pemberhentian telah tercapai. Kriteria pemberhentian BPNN adalah sebagai berikut:

- Jumlah *epoch* maksimum sebesar 10.000.
- Waktu iterasi maksimum sebesar 200 detik
- Nilai performa maksimum sebesar 10^{-4} .
- Nilai gradient maksimum sebesar 10^{-5} .

4.2.4 Data Prediksi BPNN

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai respon dengan menggunakan metode BPNN terdiri dari data *training*, *testing* dan validasi. Data yang digunakan untuk *training*, *testing* dan validasi masing-masing adalah sebesar 70%, 15% dan 15% dari jumlah data hasil eksperimen. Data yang digunakan sebagai data *training* sebanyak 57 data ditunjukkan pada Tabel 4.5. Gambar 4.4 menunjukkan grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data *training*. Data yang digunakan sebagai data *testing* sebanyak 12 data ditunjukkan pada Tabel 4.6. Gambar 4.5 menunjukkan grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data *testing*. Data yang digunakan sebagai data validasi sebanyak 12 data ditunjukkan pada Tabel 4.7. Gambar 4.6 menunjukkan grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data validasi.

Tabel 4.5 Data *Training*

No	No Data <i>Training</i>	Kekuatan Tarik			Perpanjangan Putus		
		Eksp.	Pred.	Error (%)	Eksp.	Pred.	Error (%)
1	1	5,448	5,590	2,607	228,650	230,852	0,963
2	2	5,405	5,431	0,488	215,655	214,710	0,438
3	5	5,617	5,580	0,660	202,338	204,340	0,989
4	6	5,415	5,503	1,630	202,325	202,171	0,076
5	7	5,306	5,443	2,570	200,196	200,904	0,354
6	8	5,641	5,626	0,266	202,869	203,692	0,406
7	9	5,601	5,624	0,412	220,399	220,480	0,037
8	10	5,237	5,237	0,000	196,303	196,303	0,000

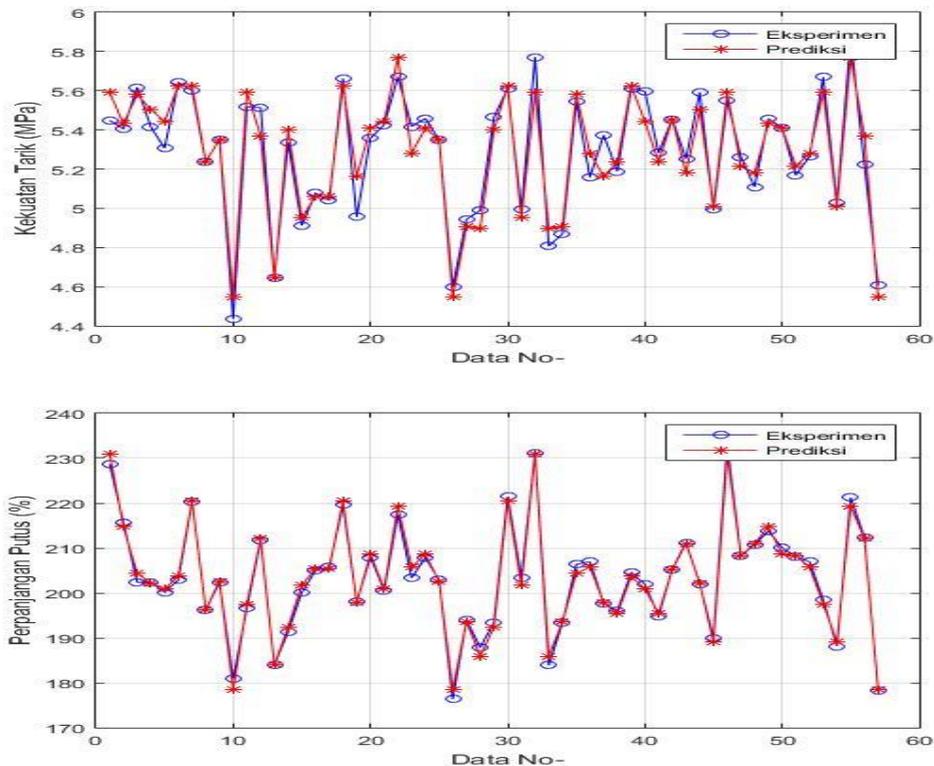
Tabel 4.5 Data *Training* (Lanjutan)

No	No Data <i>Training</i>	Kekuatan Tarik			Perpanjangan Putus		
		Eksp.	Pred.	Error (%)	Eksp.	Pred.	Error (%)
9	12	5,351	5,350	0,009	202,253	202,582	0,162
10	16	4,436	4,547	2,496	180,897	178,525	1,311
11	17	5,518	5,593	1,371	196,672	197,551	0,447
12	19	5,514	5,368	2,642	211,752	212,051	0,141
13	24	4,645	4,645	0,000	183,887	183,886	0,000
14	25	5,336	5,400	1,202	191,324	192,344	0,533
15	26	4,912	4,953	0,846	200,124	201,770	0,823
16	27	5,077	5,058	0,372	204,982	205,399	0,203
17	28	5,039	5,058	0,374	205,815	205,399	0,202
18	30	5,662	5,624	0,665	219,607	220,480	0,397
19	31	4,956	5,164	4,207	197,984	197,818	0,084
20	32	5,357	5,408	0,965	207,944	208,603	0,317
21	33	5,426	5,443	0,309	200,568	200,904	0,167
22	34	5,671	5,770	1,740	217,426	219,335	0,878
23	37	5,417	5,280	2,520	203,352	205,757	1,182
24	38	5,458	5,408	0,920	207,813	208,603	0,380
25	39	5,350	5,350	0,009	202,911	202,582	0,162
26	40	4,598	4,547	1,109	176,331	178,525	1,245
27	41	4,943	4,906	0,750	193,895	193,629	0,137
28	42	4,989	4,898	1,823	187,856	185,872	1,056
29	45	5,464	5,400	1,174	193,364	192,344	0,527
30	49	5,609	5,624	0,260	221,434	220,480	0,431
31	51	4,995	4,953	0,832	203,417	201,770	0,810
32	52	5,771	5,590	3,130	231,088	230,852	0,102
33	54	4,807	4,898	1,892	183,889	185,872	1,079
34	56	4,869	4,906	0,762	193,363	193,629	0,138
35	57	5,543	5,580	0,669	206,341	204,340	0,970
36	58	5,158	5,280	2,364	206,967	205,757	0,585
37	59	5,373	5,164	3,881	197,652	197,818	0,084
38	60	5,188	5,236	0,919	195,993	195,423	0,291
39	62	5,612	5,626	0,267	204,515	203,692	0,402
40	63	5,596	5,443	2,737	201,947	200,904	0,517
41	64	5,284	5,236	0,902	194,853	195,423	0,292
42	65	5,454	5,454	0,000	205,261	205,261	0,000
43	66	5,251	5,180	1,364	211,208	210,993	0,102
44	67	5,591	5,503	1,579	202,018	202,171	0,076

Tabel 4.5 Data *Training* (Lanjutan)

No	No Data <i>Training</i>	Kekuatan Tarik			Perpanjangan Putus		
		Eksp.	Pred.	Error (%)	Eksp.	Pred.	Error (%)
45	68	4,993	5,010	0,340	189,965	189,050	0,482
46	69	5,552	5,590	0,696	232,816	230,852	0,844
47	70	5,262	5,215	0,899	208,278	208,206	0,035
48	72	5,108	5,180	1,402	210,778	210,993	0,102
49	73	5,457	5,431	0,483	213,766	214,710	0,442
50	74	5,410	5,408	0,027	210,052	208,603	0,690
51	75	5,167	5,215	0,915	208,134	208,206	0,035
52	76	5,266	5,280	0,276	206,951	205,757	0,577
53	77	5,669	5,593	1,334	198,429	197,551	0,443
54	78	5,027	5,010	0,337	188,135	189,050	0,486
55	79	5,868	5,770	1,682	221,244	219,335	0,863
56	80	5,223	5,368	2,790	212,349	212,051	0,141
57	81	4,607	4,547	1,296	178,348	178,525	0,099
Rata-Rata Error			1,196	-	0,434		
MSE			0,007	-	1,284		

Sumber: Hasil Perhitungan

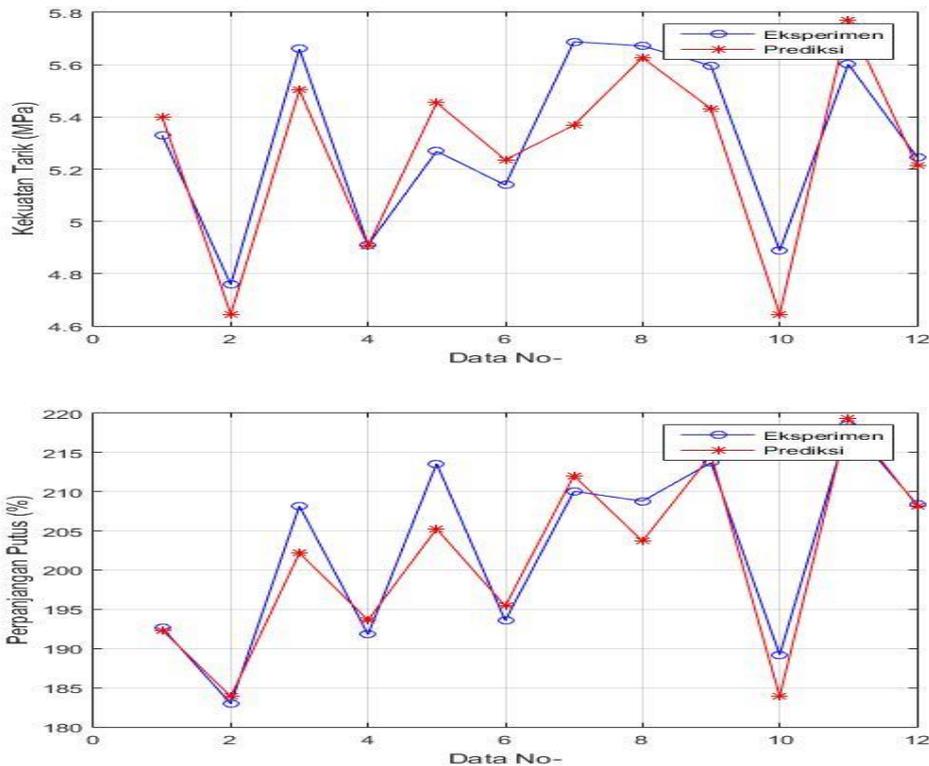


Gambar 4.4 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data *training*

Tabel 4.6 Data *Testing*

No	No Data <i>Testing</i>	Kekuatan Tarik			Perpanjangan Putus		
		Eksp.	Pred.	Error (%)	Eksp.	Pred.	Error (%)
1	3	5,330	5,400	1,317	192,645	192,344	0,156
2	11	4,758	4,645	2,379	182,937	183,886	0,519
3	14	5,660	5,503	2,774	208,167	202,171	2,880
4	21	4,911	4,906	0,090	191,787	193,629	0,960
5	22	5,269	5,454	3,517	213,583	205,261	3,896
6	29	5,139	5,236	1,878	193,555	195,423	0,965
7	35	5,688	5,368	5,615	210,050	212,051	0,953
8	44	5,672	5,626	0,797	208,791	203,692	2,442
9	46	5,596	5,431	2,945	213,703	214,710	0,471
10	50	4,888	4,645	4,967	189,194	183,886	2,805
11	53	5,602	5,770	2,992	218,599	219,335	0,337
12	61	5,246	5,215	0,604	208,378	208,206	0,083
Rata-Rata Error			2,490			1,372	
MSE			0,025			14,403	

Sumber: Hasil Perhitungan

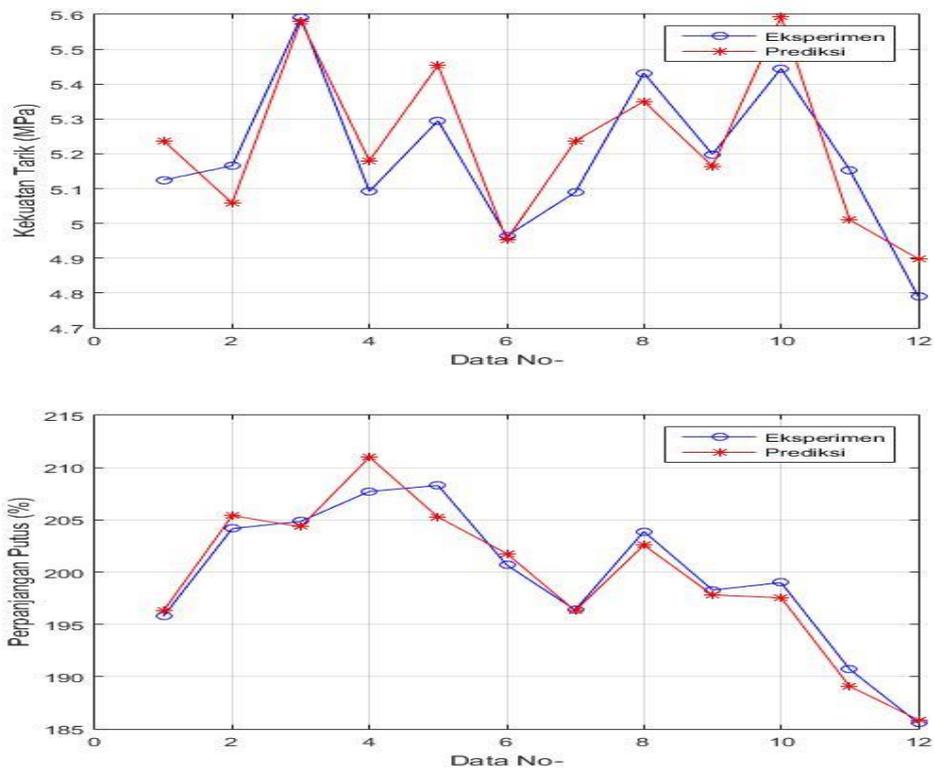


Gambar 4.5 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data *testing*

Tabel 4.7 Data Validasi

No	No Data Validasi	Kekuatan Tarik			Perpanjangan Putus		
		Eksp.	Pred.	Error (%)	Eksp.	Pred.	Error (%)
1	4	5,125	5,237	2,189	195,775	196,303	0,269
2	13	5,166	5,058	2,077	204,157	205,399	0,608
3	15	5,591	5,580	0,183	204,857	204,340	0,253
4	18	5,092	5,180	1,721	207,718	210,993	1,577
5	20	5,295	5,454	3,006	208,293	205,261	1,456
6	23	4,964	4,953	0,214	200,681	201,770	0,543
7	36	5,089	5,237	2,900	196,380	196,303	0,039
8	43	5,432	5,350	1,503	203,890	202,582	0,642
9	47	5,198	5,164	0,653	198,289	197,818	0,238
10	48	5,445	5,593	2,729	198,998	197,551	0,727
11	55	5,154	5,010	2,785	190,703	189,050	0,867
12	71	4,790	4,898	2,265	185,551	185,872	0,173
Rata-Rata Error			1,852	-	0,616		
MSE			0,012	-	2,506		

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.6 Grafik hasil eksperimen dan hasil prediksi BPNN untuk data validasi

4.3 Metode Optimasi GA

GA merupakan metode optimasi yang digunakan untuk menentukan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang menghasilkan nilai respon optimal. Perhitungan untuk optimasi GA dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2015a. Secara umum tahapan-tahapan pada metode optimasi GA adalah sebagai berikut:

- Penentuan fungsi *fitness*.
- Penentuan batas bawah dan batas atas parameter proses.
- Penentuan parameter-parameter optimasi GA.

4.3.1 Penentuan Fungsi *Fitness*

Fungsi *fitness* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian suatu solusi dengan solusi yang dicari. Fungsi *fitness* bisa berhubungan langsung dengan fungsi tujuan atau dengan modifikasi terhadap suatu fungsi tujuan. Sejumlah solusi yang dibangkitkan pada suatu populasi akan dievaluasi dengan menggunakan fungsi *fitness* (Santosa dan Willy, 2011). Pada penelitian ini, fungsi *fitness* didapatkan dengan cara menggabungkan dua fungsi objektif yang diperoleh dari hasil prediksi BPNN menjadi satu fungsi *fitness*. Fungsi aktivasi yang digunakan untuk menentukan masing-masing fungsi objektif adalah *hyperbolic tangent sigmoid transfer function* (tansig). Persamaan tansig yang digunakan adalah $f(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1$. Fungsi objektif dari masing-masing parameter respon didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$z_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \quad (4.2)$$

$$y_k = b_{0k} + \sum_{j=1}^n b_{jk} \left(\left(\frac{2}{1+e^{-2z_j}} \right) - 1 \right) \quad (4.3)$$

Dengan:

y_k = fungsi objektif masing-masing parameter respon

z_j = fungsi aktivasi masing-masing *neuron* pada *hidden layer*

a = nilai bobot dari *input layer* ke *hidden layer*

- a_0 = nilai bias dari *input layer* ke *hidden layer*
- b = nilai bobot dari *hidden layer* ke *output layer*
- b_0 = nilai bias dari *hidden layer* ke *output layer*
- i = parameter proses ke- i
- j = *neuron* ke- j pada *hidden layer*
- k = parameter respon ke- k

Setelah didapatkan fungsi objektif, maka dilakukan penggabungan dua fungsi objektif menjadi satu fungsi *fitness* seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\text{Max } F = y_1 + y_2 \tag{4.4}$$

Dengan:

- y_1 = fungsi objektif untuk kekuatan tarik
- y_2 = fungsi objektif untuk perpanjangan putus

4.3.2 Penentuan Batas Bawah dan Batas Atas Parameter Proses

Pengaturan parameter proses pada metode optimasi GA perlu dibatasi agar hasilnya tidak berada di luar nilai interval parameter proses pada penelitian ini. Nilai batas bawah dan batas atas parameter proses yang digunakan pada optimasi GA ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai Batas Bawah dan Batas Atas Parameter Proses

Parameter Proses	Unit	Batas	
		Bawah	Atas
Suhu cetakan	°C	140	170
Tekanan cetakan	bar	70	90
Waktu tahan	menit	2	4

4.3.3 Penentuan Parameter-Parameter Optimasi GA

Parameter-parameter yang digunakan pada optimasi GA antara lain jumlah generasi sebesar 100, jumlah populasi sebesar 50, probabilitas seleksi sebesar 0,35 dengan metode *roulette wheel*, probabilitas *crossover* sebesar 0,8 dan probabilitas mutasi sebesar 0,2.

4.4 Hasil Optimasi GA

Apabila tahapan-tahapan pada metode optimasi GA telah dilakukan, maka akan didapatkan pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang menghasilkan nilai respon optimal. Tabel 4.9 menunjukkan hasil optimasi GA pada penelitian ini.

Tabel 4.9 Hasil Optimasi GA

Parameter Proses			Respon Optimal	
Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	Kekuatan Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
145	84	4	5,731	227,861

Sumber: Hasil Perhitungan

4.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk melakukan validasi terhadap nilai respon hasil optimasi. Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan mengambil sampel sol karet sebanyak 5 unit. Tabel 4.10 menunjukkan hasil eksperimen konfirmasi pada penelitian ini.

Tabel 4.10 Hasil Eksperimen Konfirmasi

Parameter Proses			Respon	
Suhu Cetakan (°C)	Tekanan Cetakan (bar)	Waktu Tahan (menit)	Kekuatan Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
145	84	4	5,626	226,732
			5,578	228,080
			5,748	226,857
			5,733	225,058
			5,595	227,718
Rata-Rata			5,656	226,889
Deviasi Standar			0,079	1,171

Sumber: Hasil Pengukuran

4.6 Pengujian Kesamaan Nilai Respon Hasil Optimasi dengan Nilai Respon Rata-Rata Hasil Eksperimen Konfirmasi

Pembandingan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian *one-sample t*. Berikut ini merupakan hasil pengujian *one-sample t* untuk masing-masing parameter respon:

a. Kekuatan Tarik

- Hipotesis pengujian *one-sample t*

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

$$\mu_0 = 5,731$$

- Kriteria penolakan

Tolak H_0 jika $P_{value} < \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

- Hasil Pengujian

$$P_{value} = 0,101$$

- Kesimpulan

$P_{value} > \alpha$ sehingga H_0 gagal ditolak, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesamaan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi.

b. Perpanjangan Putus

- Hipotesis pengujian *one-sample t*:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

$$\mu_0 = 227,861$$

- Kriteria penolakan

Tolak H_0 jika $P_{value} < \alpha$ dan $\alpha = 5\% = 0,05$

- Hasil Pengujian

$$P_{value} = 0,137$$

- Kesimpulan

$P_{value} > \alpha$ sehingga H_0 gagal ditolak, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesamaan antara nilai respon hasil optimasi dengan nilai respon rata-rata hasil eksperimen konfirmasi.

4.7 Analisis Kemampuan Proses

Analisis kemampuan proses terhadap respon kekuatan tarik dan perpanjangan putus dilakukan dengan menggunakan Peta kendali \bar{X} dan R. Hasil analisis kemampuan proses dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi ditunjukkan pada lampiran 8. Hasil analisis kemampuan proses sebelum dan sesudah dilakukan optimasi ditunjukkan pada Tabel 4.11. Proses vulkanisasi dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi dapat menghasilkan peningkatan nilai C_{pk} apabila dibandingkan dengan sebelum dilakukan optimasi.

Tabel 4.11 Hasil Analisis Kemampuan Proses

Perbandingan	Kekuatan Tarik (MPa)		Perpanjangan Putus (%)	
	Awal	Optimasi	Awal	Optimasi
Mean	4,907	5,715	193,534	227,810
Deviasi Standar	0,096	0,069	2,369	1,083
C_{pk} (Keakurasian)	0,02	3,63	0,07	9,49

Sumber: Hasil Perhitungan

4.8 Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian

Hasil analisis kemampuan proses dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai deviasi standar dan terdapat nilai rata-rata respon yang menjauhi nilai batas spesifikasi bawah yang berlaku. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan pada biaya kerugian. Perhitungan penurunan biaya kerugian dilakukan dengan menggunakan persamaan pada metode *Taguchi loss function*. Tabel 4.12 menunjukkan

perhitungan biaya pengganti kerugian (A_0) yang akan digunakan dalam perhitungan penurunan biaya kerugian.

Tabel 4.12 Perhitungan Biaya Pengganti Kerugian (A_0)

Keterangan	Rincian	Harga per Unit
Harga Pokok Produksi (HPP)	-	Rp 15.000
Harga Produk Bagus (HPB)	HPP + 15% HPP	Rp 17.250
Harga Produk Cacat (HPC)	50% HPB	Rp 8.625
Biaya Pengganti Kerugian (A_0)	HPP-HPC	Rp 6.375

Sumber: Laporan Keuangan CV. XYZ Sidoarjo

a. Perhitungan Konstanta (k)

$$k = A_0 \Delta_0^2$$

$$A_0 = \text{Rp } 6.375$$

$$\Delta_{0Ts} = 1,1$$

$$\Delta_{0E} = 57$$

$$k_{Ts} = \frac{6.375}{1,1^2} = 7.713,75$$

$$k_E = \frac{6.375}{57^2} = 20.712.375$$

b. Perhitungan Biaya Kerugian Awal

$$L_{Ts} = k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right)$$

$$L_{Ts} = 7.713,75 \left(\frac{1}{4,907^2} \right) \left(1 + \frac{3(0,096^2)}{4,907^2} \right)$$

$$L_{Ts} = \text{Rp } 320,72/\text{unit}$$

$$L_E = k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right)$$

$$L_E = 20.712.375 \left(\frac{1}{193,534^2} \right) \left(1 + \frac{3(2,369^2)}{193,534^2} \right)$$

$$L_E = \text{Rp } 553,24/\text{unit}$$

c. Perhitungan Biaya Kerugian Hasil Optimasi

$$L_{Ts} = k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right)$$

$$L_{Ts} = 7.713,75 \left(\frac{1}{5,715^2} \right) \left(1 + \frac{3(0,069^2)}{5,715^2} \right)$$

$$L_{Ts} = \text{Rp } 236,28/\text{unit}$$

$$L_E = k \left(\frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left(1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right)$$

$$L_E = 20.712.375 \left(\frac{1}{227,810^2} \right) \left(1 + \frac{3(1,083^2)}{227,810^2} \right)$$

$$L_E = \text{Rp } 399,13/\text{unit}$$

d. Perhitungan Penurunan Biaya Kerugian

Penurunan biaya kerugian (ΔL) diperoleh dari selisih antara L_{awal} dan $L_{optimasi}$. Hasil penurunan biaya kerugian ditunjukkan pada Tabel 4.13. Penurunan biaya kerugian yang terjadi untuk respon kekuatan tarik adalah sebesar Rp 84,45/unit atau 26,33%, sedangkan untuk respon perpanjangan putus adalah sebesar Rp 154,11/unit atau 27,86%. Penurunan biaya kerugian terjadi karena nilai C_{pk} yang meningkat setelah dilakukan optimasi. Peningkatan nilai C_{pk} atau tingkat keakurasian ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata respon dari proses sudah menjauhi nilai batas spesifikasi bawah yang berlaku dan deviasi standar dari proses mengalami penurunan dari sebelum dilakukan optimasi.

Tabel 4.13 Hasil Penurunan Biaya Kerugian

Keterangan	Kekuatan Tarik (Ts)	Perpanjangan Putus (E)	Total
L_{awal}	Rp 320,72	Rp 553,24	Rp 873,96
$L_{optimasi}$	Rp 236,28	Rp 399,13	Rp 635,41
ΔL	Rp 84,45	Rp 154,11	Rp 238,55
% ΔL	26,33%	27,86%	27,30%

Sumber: Hasil Perhitungan

4.9 Pembahasan

Pengaturan level-level dari parameter proses sebelum dilakukan optimasi adalah suhu cetakan sebesar 155 °C, tekanan cetakan sebesar 80 bar dan waktu tahan sebesar 3 menit. Sementara itu, pengaturan level-level dari parameter proses setelah dilakukan optimasi adalah suhu cetakan sebesar 145 °C, tekanan cetakan sebesar 84 bar dan waktu tahan sebesar 4 menit. Perubahan nilai pengaturan dari parameter proses tersebut menyebabkan proses pematangan sol karet menjadi lebih baik sehingga memberikan hasil positif pada peningkatan nilai parameter respon dari sol karet.

Hasil analisis kemampuan proses yang telah ditunjukkan sebelumnya pada Tabel 4.11, menyatakan bahwa nilai C_{pk} untuk proses vulkanisasi dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi, mengalami peningkatan dari sebelum dilakukan optimasi. Peningkatan C_{pk} menunjukkan bahwa deviasi standar dari proses mengalami penurunan dari sebelum dilakukan optimasi dan nilai rata-rata respon dari proses sudah menjauhi nilai batas spesifikasi bawah yang berlaku. Nilai C_{pk} untuk respon kekuatan tarik dan perpanjangan putus masing-masing adalah sebesar 3,63 dan 9,49. Proses vulkanisasi sol karet sol di CV. XYZ setelah menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi menghasilkan nilai rata-rata respon sebesar 5,715 MPa untuk kekuatan tarik dan 227,810% untuk perpanjangan putus. Nilai deviasi standar dari proses sebesar 0,069 untuk kekuatan tarik dan 1,083 untuk perpanjangan putus.

Proses vulkanisasi sol karet dengan menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi menghasilkan penurunan biaya kerugian yang cukup signifikan. Penurunan biaya kerugian untuk respon kekuatan tarik adalah sebesar Rp 84,45/unit atau 26,33%, sedangkan untuk respon perpanjangan putus adalah sebesar Rp 154,11/unit atau 27,86%. Secara keseluruhan penurunan biaya kerugian yang terjadi setelah menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi adalah sebesar Rp 238,55/unit atau 27,30%. Penurunan biaya kerugian yang terjadi disebabkan oleh nilai variansi yang lebih kecil serta nilai rata-rata respon dari proses yang menjauhi nilai batas spesifikasi bawah. Hal ini berdampak pada berkurangnya jumlah produk sol karet yang tidak memenuhi spesifikasi, dimana

secara tidak langsung perusahaan dapat terhindar dari biaya pengganti kerugian untuk produk sol karet yang cacat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Arsitektur jaringan BPNN yang dapat menghasilkan nilai MSE terkecil untuk memprediksi kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari sol karet pada proses vulkanisasi adalah:
 - 3-16-2, yang memiliki arti bahwa jaringan terdiri dari 3 *neuron* pada *input layer*, 16 *neuron* pada *hidden layer* dan 2 *neuron* pada *output layer*.
 - Fungsi-fungsi aktivasi yang digunakan pada *hidden layer*, *output layer* dan pelatihan BPNN secara berturut-turut adalah tansig, purelin dan trainlm.
2. Pengaturan level-level dari parameter proses vulkanisasi yang dapat memaksimalkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus adalah suhu cetakan sebesar 145 °C, tekanan cetakan sebesar 84 bar dan waktu tahan sebesar 4 menit.
3. Penurunan biaya kerugian yang terjadi setelah menggunakan pengaturan level-level dari hasil optimasi adalah sebesar Rp 238,55/unit atau 27,30%.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Agar spesifikasi dari semua CTQ sol karet dapat terpenuhi, maka perlu dilakukan optimasi terhadap semua CTQ secara serentak.
2. Menentukan kombinasi dari fungsi-fungsi aktivasi pada *hidden layer*, *output layer* dan fungsi pelatihan yang dapat menghasilkan arsitektur jaringan BPNN dengan nilai MSE terkecil.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Zubaidi, S., Ghani, J.A., dan Haron, C.H.C., (2013), "Optimization of Cutting Conditions for End Milling of Ti6Al4V Alloy by Using a Gravitational Search Algorithm (GSA)," *Meccanica*, Vol. 48, hal 1701-1715.
- Basuki, A., (2003), *Strategi Menggunakan Algoritma Genetika*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- Callister, W.D., (2007), *Material Science and Engineering: An Introduction*, 7th edition, John Willey & Sons, Inc., New York.
- Chandrasekaran, V.C., (2010), *Rubber as Construction Material Corrosion Protection: A Comprehensive Guide for Process Equipment Designers*, John Willey & Sons, Inc., New Jersey.
- Cheng, J., Liu, Z., dan Tan, J., (2013), "Multiobjective Optimization of Injection Molding Parameters Based on Soft Computing and Variable Complexity Method," *International Journal of Advance Manufacture Technology*, Vol. 66, hal. 907-916.
- Hanafiah, K. (2003), *Rancangan Percobaan: Teori dan Aplikasi*, Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hayajneh, M.T., Hassan, A.M., Mayyas, A.T., dan Alrashdan, A., (2011), "Modeling of Drilling Process of Al-Mg-Cu Alloys and Al-Mg-Cu/SiC Composite using Artificial Neuron Network," *Journal of Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, hal 18-24.
- Haykin, S., (2009), *Neural Network and Learning Machines*, 3rd edition, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Kreyszig, E., (2011), *Advanced Engineering Mathematic*, 10th edition, John Willey & Sons, Inc., New York.
- Li, K., Yan, S., Pan, W., dan Zhao, G., (2017), "Warpage Optimization of Fiber-Reinforced Composite Injection Molding by Combining Back Propagation Neural Network and Genetic Algorithm," *International Journal of Advance Manufacture Technology*, Vol. 90, No. 1-4, hal. 963-970.

- Mark, J.E., Erman, B., dan Roland, C.M., (2013), *The Science and Technology of Rubber*, 4th edition, Elsevier, Inc., Oxford.
- Martiana, E., (2011), *Kecerdasan Buatan*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- Montgomery, D.C., (2001), *Design and Analysis of Experiments*, 6th edition, John Willey & Sons, Inc., New York.
- Montgomery, D.C., (2009), *Introduction to Statistical Quality Control*, 6th edition, John Willey & Sons, Inc., New York.
- Razfar, M.R. dan Zadeh, Z.M., (2009), "Optimum Damage and Surface Roughness Prediction in End Milling Glass Fibre-Reinforced Plastics using Neural Network and Genetic Algorithm," *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 223, No. 6, hal. 653-664.
- Rong ,Y., Zhang, Z., Zhang, G., Yue, C., Gu, Y., Huang, Y., Wang, C., dan Shao, X., (2015), "Parameters Optimization of Laser Brazing in Crimping Butt Using Taguchi and BPNN-GA," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 67, hal. 94-104.
- Ross, P.J., (1996), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, 2nd edition, McGraw-Hill Companies, Inc., Singapura.
- Santosa, B. dan Willy, P., (2011), *Metoda Metaheuristik: Konsep dan Implementasi*, Guna Widya, Surabaya.
- Siang, J.J., (2009), *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB*, Andi Offset, Yogyakarta.
- SNI 0778 (2009), *Sol Karet Cetak*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Suwandi, Nuryati, L., Noviati, dan Ekanantari, (2015), *Outlook Karet: Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*, Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Jakarta.
- Syaffendi, M.R., (2014), *Analisis Posisi Karet Alam Indonesia di Pasar Karet Alam China*, Tesis, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Syakir, M., Damanik, S., Tasma, M., dan Siswanto, (2010), *Budidaya dan Pasca Panen Karet*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor.
- Tzeng, C.J. dan Chen, R., (2013), "Optimization of Electrical Discharge Machining Process using the Response Surface Methodology and Genetic Algorithm

Approach,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 14, No. 5, hal. 709-717.

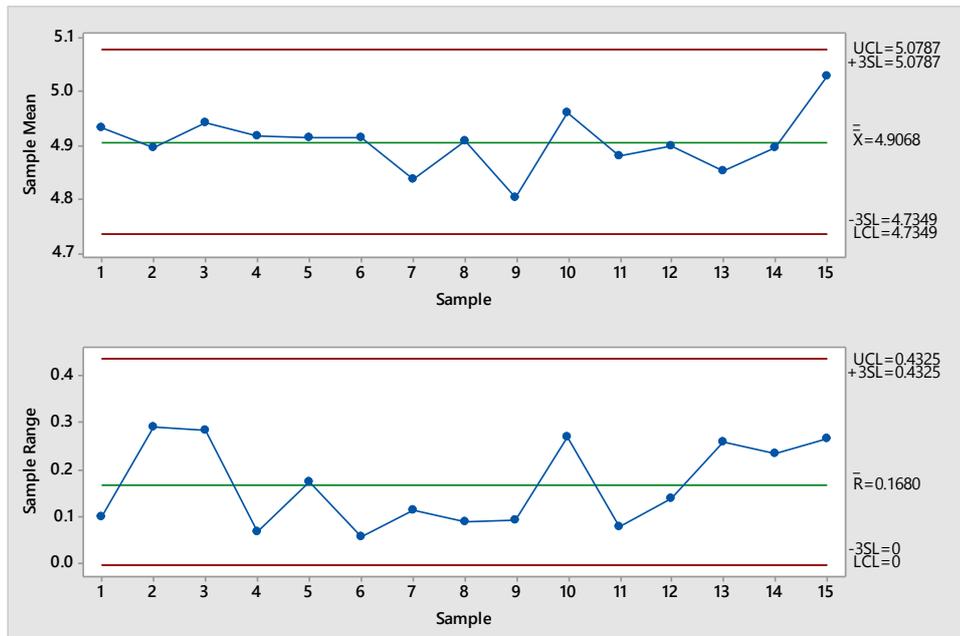
Vijayaram, T.R., (2009), “A Technical Review on Rubber,” *International Journal on Design and Manufacturing Technologies*, Vol. 3, No. 1, hal. 25-37.

Yang, K. dan El-Halik, B., (2003), *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.

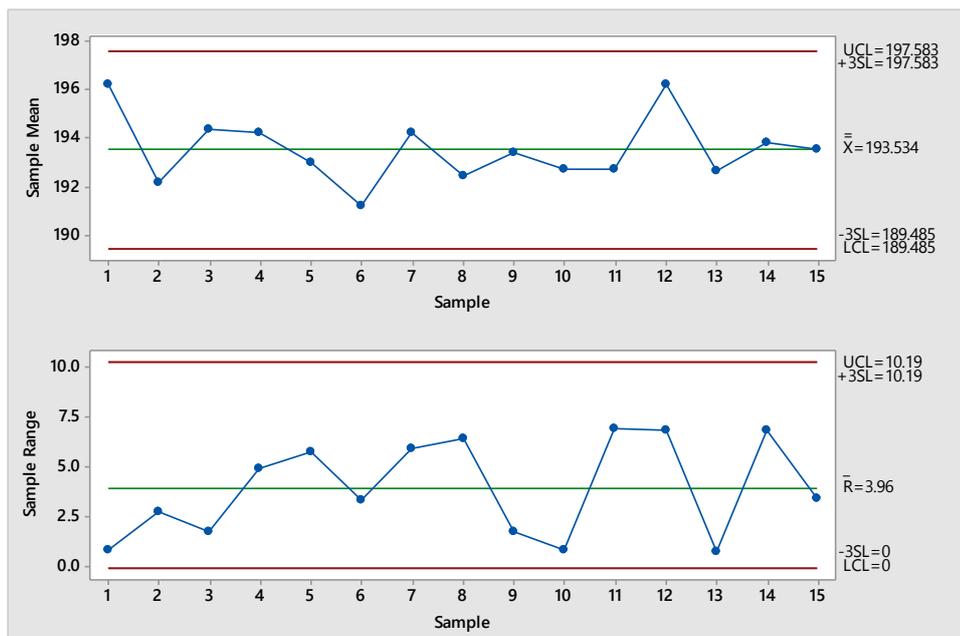
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1

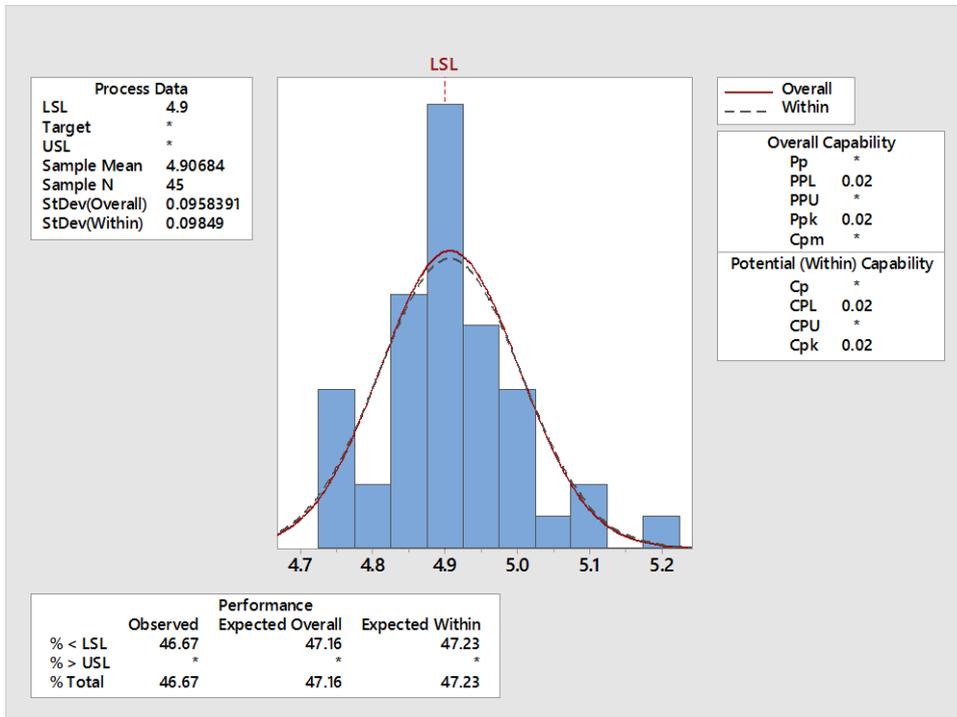
**Peta kendali \bar{X} dan R untuk kekuatan tarik
sebelum dilakukan optimasi**



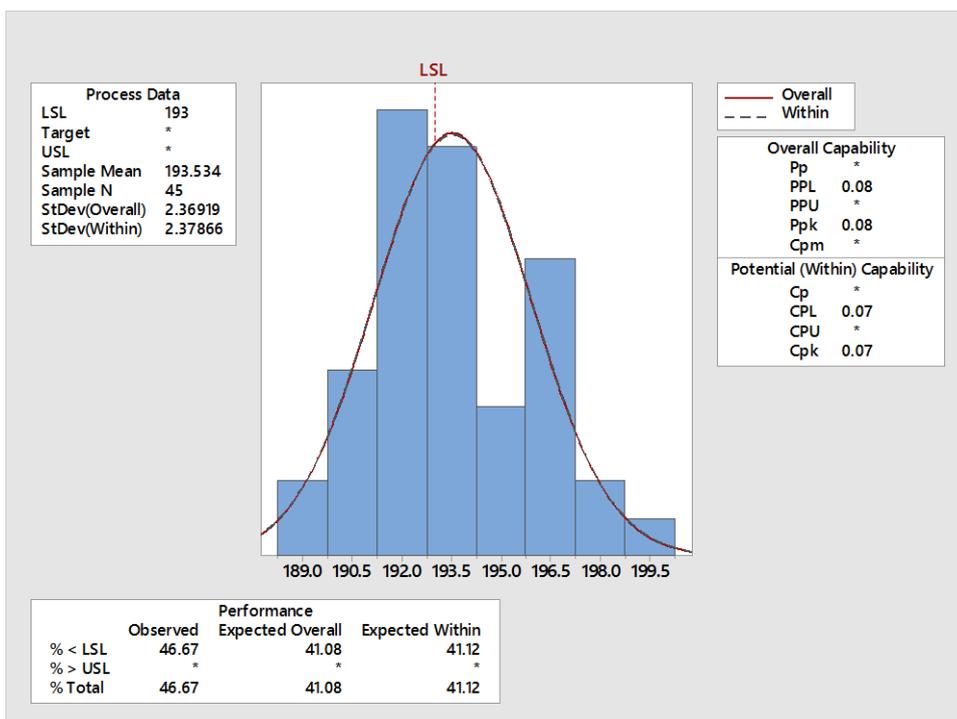
**Peta kendali \bar{X} dan R untuk perpanjangan putus
sebelum dilakukan optimasi**



Analisis kemampuan proses untuk kekuatan tarik sebelum dilakukan optimasi



Analisis kemampuan proses untuk perpanjangan putus sebelum dilakukan optimasi



LAMPIRAN 2

Komposisi bahan karet CV. XYZ Sidoarjo

No	Material	Berat
1	Karet I	4 Kg
2	Karet II	7 Kg
3	Rec	14,4 Kg
4	Calcium	14 Kg
5	Serbuk Karet	5,4 Kg
6	Serbuk Eva	13,5 Kg
7	Oli	1,5 L
8	ZnO	600 g
9	Sta	400 g
10	PEG	150 g
11	MBTS	140 g
12	MBT	30 g
13	TMTM	30 g
14	Sulfur	10 g
15	Disperflow	150 g

LAMPIRAN 3

**Tabel Rancangan Acak Lengkap (RAL)
Faktorial 3 x 3 x 3 dengan Replikasi 3 Kali**

No.	Urutan Acak	Kombinasi Level-Level Faktor	Kekuatan Tarik	Perpanjangan Putus
1	29	T ₁ P ₁ t ₂	TS ₁₁₂₂	E ₁₁₂₂
2	45	T ₂ P ₃ t ₃	TS ₂₃₃₂	E ₂₃₃₂
3	73	T ₃ P ₁ t ₁	TS ₃₁₁₃	E ₃₁₁₃
4	38	T ₂ P ₁ t ₂	TS ₂₁₂₂	E ₂₁₂₂
5	28	T ₁ P ₁ t ₁	TS ₁₁₁₂	E ₁₁₁₂
6	31	T ₁ P ₂ t ₁	TS ₁₂₁₂	E ₁₂₁₂
7	16	T ₂ P ₃ t ₁	TS ₂₃₁₁	E ₂₃₁₁
8	61	T ₁ P ₃ t ₁	TS ₁₃₁₃	E ₁₃₁₃
9	60	T ₁ P ₂ t ₃	TS ₁₂₃₃	E ₁₂₃₃
10	65	T ₂ P ₁ t ₂	TS ₂₁₂₃	E ₂₁₂₃
11	66	T ₂ P ₁ t ₃	TS ₂₁₃₃	E ₂₁₃₃
12	44	T ₂ P ₃ t ₂	TS ₂₃₂₂	E ₂₃₂₂
13	78	T ₃ P ₂ t ₃	TS ₃₂₃₃	E ₃₂₃₃
14	4	T ₁ P ₂ t ₁	TS ₁₂₁₁	E ₁₂₁₁
15	1	T ₁ P ₁ t ₁	TS ₁₁₁₁	E ₁₁₁₁
16	75	T ₃ P ₁ t ₃	TS ₃₁₃₃	E ₃₁₃₃
17	10	T ₂ P ₁ t ₁	TS ₂₁₁₁	E ₂₁₁₁
18	3	T ₁ P ₁ t ₃	TS ₁₁₃₁	E ₁₁₃₁
19	59	T ₁ P ₂ t ₂	TS ₁₂₂₃	E ₁₂₂₃
20	42	T ₂ P ₂ t ₃	TS ₂₂₃₂	E ₂₂₃₂
21	77	T ₂ P ₂ t ₂	TS ₂₂₂₃	E ₂₂₂₃
22	15	T ₂ P ₂ t ₃	TS ₂₂₃₁	E ₂₂₃₁
23	80	T ₃ P ₃ t ₂	TS ₃₃₂₃	E ₃₃₂₃
24	39	T ₂ P ₁ t ₃	TS ₂₁₃₂	E ₂₁₃₂

25	19	T ₃ P ₁ t ₁	TS ₃₁₁₁	E ₃₁₁₁
26	26	T ₃ P ₃ t ₂	TS ₃₃₂₁	E ₃₃₂₁
27	24	T ₃ P ₂ t ₃	TS ₃₂₃₁	E ₃₂₃₁
28	51	T ₃ P ₂ t ₃	TS ₃₂₃₂	E ₃₂₃₂
29	13	T ₂ P ₂ t ₁	TS ₂₂₁₁	E ₂₂₁₁
30	33	T ₁ P ₂ t ₃	TS ₁₂₃₂	E ₁₂₃₂
31	25	T ₃ P ₃ t ₁	TS ₃₃₁₁	E ₃₃₁₁
32	35	T ₁ P ₃ t ₂	TS ₁₃₂₂	E ₁₃₂₂
33	43	T ₂ P ₃ t ₁	TS ₂₃₁₂	E ₂₃₁₂
34	9	T ₁ P ₃ t ₃	TS ₁₃₃₁	E ₁₃₃₁
35	32	T ₁ P ₂ t ₂	TS ₁₂₂₂	E ₁₂₂₂
36	11	T ₂ P ₁ t ₂	TS ₂₁₂₁	E ₂₁₂₁
37	41	T ₃ P ₂ t ₂	TS ₃₂₂₂	E ₃₂₂₂
38	62	T ₁ P ₃ t ₂	TS ₁₃₂₃	E ₁₃₂₃
39	17	T ₂ P ₃ t ₂	TS ₂₃₂₁	E ₂₃₂₁
40	21	T ₃ P ₁ t ₃	TS ₃₁₃₁	E ₃₁₃₁
41	50	T ₂ P ₂ t ₂	TS ₂₂₂₂	E ₂₂₂₂
42	22	T ₃ P ₂ t ₁	TS ₃₂₁₁	E ₃₂₁₁
43	71	T ₂ P ₃ t ₂	TS ₂₃₂₃	E ₂₃₂₃
44	7	T ₁ P ₃ t ₁	TS ₁₃₁₁	E ₁₃₁₁
45	46	T ₃ P ₁ t ₁	TS ₃₁₁₂	E ₃₁₁₂
46	72	T ₂ P ₃ t ₃	TS ₂₃₃₃	E ₂₃₃₃
47	52	T ₃ P ₃ t ₁	TS ₃₃₁₂	E ₃₃₁₂
48	37	T ₂ P ₁ t ₁	TS ₂₁₁₂	E ₂₁₁₂
49	6	T ₁ P ₂ t ₃	TS ₁₂₃₁	E ₁₂₃₁
50	12	T ₂ P ₁ t ₃	TS ₂₁₃₁	E ₂₁₃₁
51	53	T ₃ P ₃ t ₂	TS ₃₃₂₂	E ₃₃₂₂
52	56	T ₁ P ₁ t ₂	TS ₁₁₂₃	E ₁₁₂₃
53	36	T ₁ P ₃ t ₃	TS ₁₃₃₂	E ₁₃₃₂
54	49	T ₃ P ₂ t ₁	TS ₃₂₁₂	E ₃₂₁₂
55	20	T ₃ P ₁ t ₂	TS ₃₁₂₁	E ₃₁₂₁

56	23	T ₂ P ₂ t ₂	TS ₂₂₂₁	E ₂₂₂₁
57	55	T ₁ P ₁ t ₁	TS ₁₁₁₃	E ₁₁₁₃
58	14	T ₃ P ₂ t ₂	TS ₃₂₂₁	E ₃₂₂₁
59	79	T ₃ P ₃ t ₁	TS ₃₃₁₃	E ₃₃₁₃
60	67	T ₂ P ₂ t ₁	TS ₂₂₁₃	E ₂₂₁₃
61	27	T ₃ P ₃ t ₃	TS ₃₃₃₁	E ₃₃₃₁
62	34	T ₁ P ₃ t ₁	TS ₁₃₁₂	E ₁₃₁₂
63	70	T ₂ P ₃ t ₁	TS ₂₃₁₃	E ₂₃₁₃
64	40	T ₂ P ₂ t ₁	TS ₂₂₁₂	E ₂₂₁₂
65	69	T ₂ P ₂ t ₃	TS ₂₂₃₃	E ₂₂₃₃
66	30	T ₁ P ₁ t ₃	TS ₁₁₃₂	E ₁₁₃₂
67	58	T ₁ P ₂ t ₁	TS ₁₂₁₃	E ₁₂₁₃
68	47	T ₃ P ₁ t ₂	TS ₃₁₂₂	E ₃₁₂₂
69	2	T ₁ P ₁ t ₂	TS ₁₁₂₁	E ₁₁₂₁
70	81	T ₃ P ₃ t ₃	TS ₃₃₃₃	E ₃₃₃₃
71	76	T ₃ P ₂ t ₁	TS ₃₂₁₃	E ₃₂₁₃
72	57	T ₁ P ₁ t ₃	TS ₁₁₃₃	E ₁₁₃₃
73	18	T ₂ P ₃ t ₃	TS ₂₃₃₁	E ₂₃₃₁
74	8	T ₁ P ₃ t ₂	TS ₁₃₂₁	E ₁₃₂₁
75	54	T ₃ P ₃ t ₃	TS ₃₃₃₂	E ₃₃₃₂
76	68	T ₃ P ₂ t ₂	TS ₃₂₂₃	E ₃₂₂₃
77	64	T ₂ P ₁ t ₁	TS ₂₁₁₃	E ₂₁₁₃
78	74	T ₃ P ₁ t ₂	TS ₃₁₂₃	E ₃₁₂₃
79	63	T ₁ P ₃ t ₃	TS ₁₃₃₃	E ₁₃₃₃
80	5	T ₁ P ₂ t ₂	TS ₁₂₂₁	E ₁₂₂₁
81	48	T ₃ P ₁ t ₃	TS ₃₁₃₂	E ₃₁₃₂

Dimana notasi kombinasi level-level faktor adalah T_iP_jt_k sedangkan notasi parameter respon adalah TS_{ijkl} dan E_{ijkl} dengan keterangan sebagai berikut:

T = suhu cetakan

P = tekanan cetakan

t = waktu tahan

T_s = kekuatan tarik

E = perpanjangan putus

i = level ke- n untuk faktor suhu cetakan

j = level ke- n untuk faktor tekanan cetakan

k = level ke- n untuk faktor waktu tahan

r = replikasi ke- n

n = 1, 2, 3

LAMPIRAN 4

Bahasa pemrograman Matlab R2015a untuk prediksi nilai respon dengan menggunakan BPNN adalah sebagai berikut:

```
clc,clear,close all;

global net neuron1

parameter_proses=xlsread('data_eksperimen.xlsx',1,'C3:E83');
parameter_respon=xlsread('data_eksperimen.xlsx',1,'F3:G83');

p=parameter_proses';
t=parameter_respon';

[pn,ps]=mapminmax(p);
[tn,ts]=mapminmax(t);

neuron1=16;

net=newff(minmax(pn),tn,neuron1,{'tansig','purelin'},'trainlm');

net.trainParam.epochs=10000;
net.trainParam.time=200;
net.trainParam.goal=1e-4;
net.trainParam.min_grad=1e-5;
net.trainParam.max_fail=1000;

net = init(net);

net.divideParam.TrainRatio=70/100;
net.divideParam.valRatio=15/100;
net.divideParam.testRatio=15/100;

net.trainParam.lr=0.05;
net.trainParam.show=10;

[net,tr]=train(net,pn,tn);

yn=sim(net,pn);
MSE=perform(net,tn,yn);

display(MSE);

y=mapminmax('reverse',yn,ts);
prediksi_respon=y';

a=net.IW{1,1};
b=net.LW{2,1};

a0=net.b{1};
b0=net.b{2};
```

```

display(a);
display(b);

display(a0);
display(b0);

figure(1);
plot([1:size(p',1)]',parameter_respon(:,1),'bo',[1:size(p',1)]',
prediksi_respon(:,1),'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2)
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Kekuatan Tarik (MPa)');
figure(2);
plot([1:size(p',1)]',parameter_respon(:,2),'bo',[1:size(p',1)]',
prediksi_respon(:,2),'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Perpanjangan Putus (%)');
figure(3);
plot([1:size(tr.trainInd',1)]',parameter_respon(tr.trainInd',1),
'-bo',[1:size(tr.trainInd',1)]',prediksi_respon(tr.trainInd',1),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Kekuatan Tarik (MPa)');
figure(4);
plot([1:size(tr.trainInd',1)]',parameter_respon(tr.trainInd',2),
'-bo',[1:size(tr.trainInd',1)]',prediksi_respon(tr.trainInd',2),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Perpanjangan Putus (%)');
figure(5);
plot([1:size(tr.testInd',1)]',parameter_respon(tr.testInd',1),
'-bo',[1:size(tr.testInd',1)]',prediksi_respon(tr.testInd',1),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Kekuatan Tarik (MPa)');
figure(6);
plot([1:size(tr.testInd',1)]',parameter_respon(tr.testInd',2),
'-bo',[1:size(tr.testInd',1)]',prediksi_respon(tr.testInd',2),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Perpanjangan Putus (%)');
figure(7);
plot([1:size(tr.valInd',1)]',parameter_respon(tr.valInd',1),
'-bo',[1:size(tr.valInd',1)]',prediksi_respon(tr.valInd',1),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);

```

```

grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Kekuatan Tarik (MPa)');
figure(8);
plot([1:size(tr.valInd',1)],parameter_respon(tr.valInd',2),
'-bo',[1:size(tr.valInd',1)],prediksi_respon(tr.valInd',2),
'-r*');
legend('Eksperimen','Prediksi',2);
grid on;
xlabel('Data No-');
ylabel('Perpanjangan Putus (%)');

A=mapminmax(t);
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon,'normalisasi','A1');
xlswrite('data_prediksi.xls',A,'normalisasi','D1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon,'keseluruhan','A1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon,'keseluruhan','D1');
xlswrite('data_prediksi.xls',tr.trainInd','training','A1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.trainInd',1),
'training','C1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.trainInd',1),
'training','D1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.trainInd',2),
'training','F1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.trainInd',2),
'training','G1');
xlswrite('data_prediksi.xls',tr.testInd','testing','A1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.testInd',1),
'testing','C1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.testInd',1),
'testing','D1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.testInd',2),
'testing','F1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.testInd',2),
'testing','G1');
xlswrite('data_prediksi.xls',tr.valInd','validasi','A1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.valInd',1),
'validasi','C1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.valInd',1),
'validasi','D1');
xlswrite('data_prediksi.xls',parameter_respon(tr.valInd',2),
'validasi','F1');
xlswrite('data_prediksi.xls',prediksi_respon(tr.valInd',2),
'validasi','G1');

```

LAMPIRAN 5

Bahasa pemrograman Matlab R2015a untuk penentuan fungsi *fitness* adalah sebagai berikut:

```
function fitness=Fungsi_Fitness(x)

a =[
-1.7777    3.0420    0.4665
 0.2824    1.3460   -3.3386
 0.5834   -0.4585   -3.3501
-3.0618    0.6530   -1.7420
-2.3337    0.1551    2.9450
-3.4076   -1.0198   -0.6623
-1.8445    2.7961   -1.3586
-0.3969    1.4888    3.9420
-0.5819    2.1605   -2.9424
 0.5362    3.0571    1.0488
-0.7217    3.1823   -1.4201
-2.3933    0.2034   -2.3306
 1.3058   -2.3691    2.0822
 3.3505    1.2258    0.8516
-2.1680    2.8453    1.0860
-0.9289    3.5226   -1.0493];

b =[
-0.5244   -0.0303   -0.0595    0.0271    0.0210    0.4000    -
0.0779   -0.2766   -0.1659    0.3312    0.0475   -0.1584    0.0653
-0.2675    0.0146    0.5879
-0.2229    0.1789    0.2127   -0.0831   -0.1494    0.2195
0.4192    0.2681   -0.3480    0.1041   -1.0785   -0.1480   -0.1018
-0.2964    0.0562    1.2058];

a0 =[
 3.8413
 3.1272
-2.6718
 1.6899
 1.3178
 1.4131
 1.0503
 1.1980
-0.2640
-1.3524
 2.2782
-2.0736
 2.6115
 2.5833
-2.7975
 3.2465];

b0 =[
 0.2416
 0.2573];
```

```

z1=a(1,1)*x(1)+a(1,2)*x(2)+a(1,3)*x(3)+a0(1,1);
z2=a(2,1)*x(1)+a(2,2)*x(2)+a(2,3)*x(3)+a0(2,1);
z3=a(3,1)*x(1)+a(3,2)*x(2)+a(3,3)*x(3)+a0(3,1);
z4=a(4,1)*x(1)+a(4,2)*x(2)+a(4,3)*x(3)+a0(4,1);
z5=a(5,1)*x(1)+a(5,2)*x(2)+a(5,3)*x(3)+a0(5,1);
z6=a(6,1)*x(1)+a(6,2)*x(2)+a(6,3)*x(3)+a0(6,1);
z7=a(7,1)*x(1)+a(7,2)*x(2)+a(7,3)*x(3)+a0(7,1);
z8=a(8,1)*x(1)+a(8,2)*x(2)+a(8,3)*x(3)+a0(8,1);
z9=a(9,1)*x(1)+a(9,2)*x(2)+a(9,3)*x(3)+a0(9,1);
z10=a(10,1)*x(1)+a(10,2)*x(2)+a(10,3)*x(3)+a0(10,1);
z11=a(11,1)*x(1)+a(11,2)*x(2)+a(11,3)*x(3)+a0(11,1);
z12=a(12,1)*x(1)+a(12,2)*x(2)+a(12,3)*x(3)+a0(12,1);
z13=a(13,1)*x(1)+a(13,2)*x(2)+a(13,3)*x(3)+a0(13,1);
z14=a(14,1)*x(1)+a(14,2)*x(2)+a(14,3)*x(3)+a0(14,1);
z15=a(15,1)*x(1)+a(15,2)*x(2)+a(15,3)*x(3)+a0(15,1);
z16=a(16,1)*x(1)+a(16,2)*x(2)+a(16,3)*x(3)+a0(16,1);

s0=b0(1,1);
s1=b(1,1)*((2/(1+exp(-2*z1)))-1);
s2=b(1,2)*((2/(1+exp(-2*z2)))-1);
s3=b(1,3)*((2/(1+exp(-2*z3)))-1);
s4=b(1,4)*((2/(1+exp(-2*z4)))-1);
s5=b(1,5)*((2/(1+exp(-2*z5)))-1);
s6=b(1,6)*((2/(1+exp(-2*z6)))-1);
s7=b(1,7)*((2/(1+exp(-2*z7)))-1);
s8=b(1,8)*((2/(1+exp(-2*z8)))-1);
s9=b(1,9)*((2/(1+exp(-2*z9)))-1);
s10=b(1,10)*((2/(1+exp(-2*z10)))-1);
s11=b(1,11)*((2/(1+exp(-2*z11)))-1);
s12=b(1,12)*((2/(1+exp(-2*z12)))-1);
s13=b(1,13)*((2/(1+exp(-2*z13)))-1);
s14=b(1,14)*((2/(1+exp(-2*z14)))-1);
s15=b(1,15)*((2/(1+exp(-2*z15)))-1);
s16=b(1,16)*((2/(1+exp(-2*z16)))-1);
Ts=(s0+s1+s2+s3+s4+s5+s6+s7+s8+s9+s10+s11+s12+s13+s14+s15+s16);

k0=b0(2,1);
k1=b(2,1)*((2/(1+exp(-2*z1)))-1);
k2=b(2,2)*((2/(1+exp(-2*z2)))-1);
k3=b(2,3)*((2/(1+exp(-2*z3)))-1);
k4=b(2,4)*((2/(1+exp(-2*z4)))-1);
k5=b(2,5)*((2/(1+exp(-2*z5)))-1);
k6=b(2,6)*((2/(1+exp(-2*z6)))-1);
k7=b(2,7)*((2/(1+exp(-2*z7)))-1);
k8=b(2,8)*((2/(1+exp(-2*z8)))-1);
k9=b(2,9)*((2/(1+exp(-2*z9)))-1);
k10=b(2,10)*((2/(1+exp(-2*z10)))-1);
k11=b(2,11)*((2/(1+exp(-2*z11)))-1);
k12=b(2,12)*((2/(1+exp(-2*z12)))-1);
k13=b(2,13)*((2/(1+exp(-2*z13)))-1);
k14=b(2,14)*((2/(1+exp(-2*z14)))-1);
k15=b(2,15)*((2/(1+exp(-2*z15)))-1);
k16=b(2,16)*((2/(1+exp(-2*z16)))-1);
E=(k0+k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8+k9+k10+k11+k12+k13+k14+k15+k16);

fitness=max(Ts+E);

```

LAMPIRAN 6

Bahasa pemrograman Matlab R2015a untuk optimasi dengan menggunakan GA adalah sebagai berikut:

```
lb=[140 70 2];
ub=[170 90 4];

options=gaoptimset(@ga);
Generations=100;
PopulationSize=50;
SelectionFcn=@selectionroulette;
CrossoverFraction=0.8;
MigrationFraction=0.2;

seting_optimal=ga(@Fungsi_Fitness,3,[],[],[],[],lb,ub,[],[1 2 3]);

display(seting_optimal);

norm1=(2*(seting_optimal(1,1)-140)/(170-140))-1;
norm2=(2*(seting_optimal(1,2)-70)/(90-70))-1;
norm3=(2*(seting_optimal(1,3)-2)/(4-2))-1;
n=[norm1 norm2 norm3];

a =[
-1.7777    3.0420    0.4665
 0.2824    1.3460   -3.3386
 0.5834   -0.4585   -3.3501
-3.0618    0.6530   -1.7420
-2.3337    0.1551    2.9450
-3.4076   -1.0198   -0.6623
-1.8445    2.7961   -1.3586
-0.3969    1.4888    3.9420
-0.5819    2.1605   -2.9424
 0.5362    3.0571    1.0488
-0.7217    3.1823   -1.4201
-2.3933    0.2034   -2.3306
 1.3058   -2.3691    2.0822
 3.3505    1.2258    0.8516
-2.1680    2.8453    1.0860
-0.9289    3.5226   -1.0493];

b =[
-0.5244   -0.0303   -0.0595    0.0271    0.0210    0.4000    -
0.0779   -0.2766   -0.1659    0.3312    0.0475   -0.1584    0.0653
-0.2675    0.0146    0.5879
-0.5244   -0.0303   -0.0595    0.0271    0.0210    0.4000    -
0.0779   -0.2766   -0.1659    0.3312    0.0475   -0.1584    0.0653
-0.2675    0.0146    0.5879];

a0 =[
 3.8413
 3.1272
-2.6718
```

```

1.6899
1.3178
1.4131
1.0503
1.1980
-0.2640
-1.3524
2.2782
-2.0736
2.6115
2.5833
-2.7975
3.2465];

b0 =[
0.2416
0.2573];

x(1)=norm1;
x(2)=norm2;
x(3)=norm3;

z1=a(1,1)*x(1)+a(1,2)*x(2)+a(1,3)*x(3)+a0(1,1);
z2=a(2,1)*x(1)+a(2,2)*x(2)+a(2,3)*x(3)+a0(2,1);
z3=a(3,1)*x(1)+a(3,2)*x(2)+a(3,3)*x(3)+a0(3,1);
z4=a(4,1)*x(1)+a(4,2)*x(2)+a(4,3)*x(3)+a0(4,1);
z5=a(5,1)*x(1)+a(5,2)*x(2)+a(5,3)*x(3)+a0(5,1);
z6=a(6,1)*x(1)+a(6,2)*x(2)+a(6,3)*x(3)+a0(6,1);
z7=a(7,1)*x(1)+a(7,2)*x(2)+a(7,3)*x(3)+a0(7,1);
z8=a(8,1)*x(1)+a(8,2)*x(2)+a(8,3)*x(3)+a0(8,1);
z9=a(9,1)*x(1)+a(9,2)*x(2)+a(9,3)*x(3)+a0(9,1);
z10=a(10,1)*x(1)+a(10,2)*x(2)+a(10,3)*x(3)+a0(10,1);
z11=a(11,1)*x(1)+a(11,2)*x(2)+a(11,3)*x(3)+a0(11,1);
z12=a(12,1)*x(1)+a(12,2)*x(2)+a(12,3)*x(3)+a0(12,1);
z13=a(13,1)*x(1)+a(13,2)*x(2)+a(13,3)*x(3)+a0(13,1);
z14=a(14,1)*x(1)+a(14,2)*x(2)+a(14,3)*x(3)+a0(14,1);
z15=a(15,1)*x(1)+a(15,2)*x(2)+a(15,3)*x(3)+a0(15,1);
z16=a(16,1)*x(1)+a(16,2)*x(2)+a(16,3)*x(3)+a0(16,1);

s0=b0(1,1);
s1=b(1,1)*((2/(1+exp(-2*z1)))-1);
s2=b(1,2)*((2/(1+exp(-2*z2)))-1);
s3=b(1,3)*((2/(1+exp(-2*z3)))-1);
s4=b(1,4)*((2/(1+exp(-2*z4)))-1);
s5=b(1,5)*((2/(1+exp(-2*z5)))-1);
s6=b(1,6)*((2/(1+exp(-2*z6)))-1);
s7=b(1,7)*((2/(1+exp(-2*z7)))-1);
s8=b(1,8)*((2/(1+exp(-2*z8)))-1);
s9=b(1,9)*((2/(1+exp(-2*z9)))-1);
s10=b(1,10)*((2/(1+exp(-2*z10)))-1);
s11=b(1,11)*((2/(1+exp(-2*z11)))-1);
s12=b(1,12)*((2/(1+exp(-2*z12)))-1);
s13=b(1,13)*((2/(1+exp(-2*z13)))-1);
s14=b(1,14)*((2/(1+exp(-2*z14)))-1);
s15=b(1,15)*((2/(1+exp(-2*z15)))-1);
s16=b(1,16)*((2/(1+exp(-2*z16)))-1);
Ts=(s0+s1+s2+s3+s4+s5+s6+s7+s8+s9+s10+s11+s12+s13+s14+s15+s16);

```

```

k0=b0(2,1);
k1=b(2,1)*((2/(1+exp(-2*z1)))-1);
k2=b(2,2)*((2/(1+exp(-2*z2)))-1);
k3=b(2,3)*((2/(1+exp(-2*z3)))-1);
k4=b(2,4)*((2/(1+exp(-2*z4)))-1);
k5=b(2,5)*((2/(1+exp(-2*z5)))-1);
k6=b(2,6)*((2/(1+exp(-2*z6)))-1);
k7=b(2,7)*((2/(1+exp(-2*z7)))-1);
k8=b(2,8)*((2/(1+exp(-2*z8)))-1);
k9=b(2,9)*((2/(1+exp(-2*z9)))-1);
k10=b(2,10)*((2/(1+exp(-2*z10)))-1);
k11=b(2,11)*((2/(1+exp(-2*z11)))-1);
k12=b(2,12)*((2/(1+exp(-2*z12)))-1);
k13=b(2,13)*((2/(1+exp(-2*z13)))-1);
k14=b(2,14)*((2/(1+exp(-2*z14)))-1);
k15=b(2,15)*((2/(1+exp(-2*z15)))-1);
k16=b(2,16)*((2/(1+exp(-2*z16)))-1);
E=(k0+k1+k2+k3+k4+k5+k6+k7+k8+k9+k10+k11+k12+k13+k14+k15+k16);

y1=Ts;
ya=((y1+1)*1.432/2)+4.436;
display(ya);

y2=E;
yb=((y2+1)*56.486/2)+176.331;
display(yb);

```

LAMPIRAN 7

Hasil pengujian *one-sample t* untuk data eksperimen konfirmasi

One-Sample T: Kekuatan Tarik

Test of $\mu = 5.731$ vs $\neq 5.731$

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
C1	5	5.6558	0.0792	0.0354	(5.5574, 5.7542)	-2.12	0.101

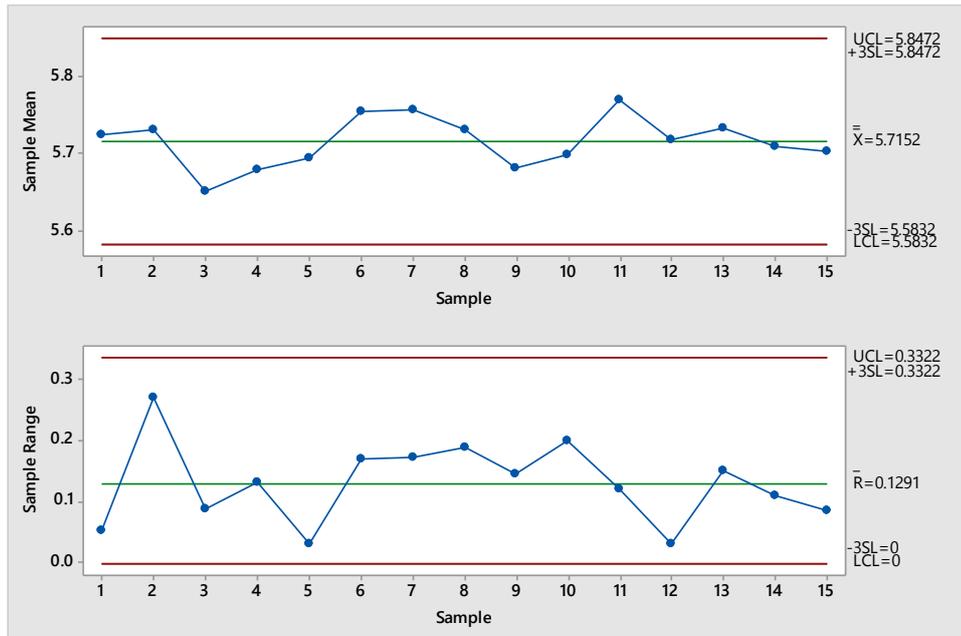
One-Sample T: Perpanjangan Putus

Test of $\mu = 227.861$ vs $\neq 227.861$

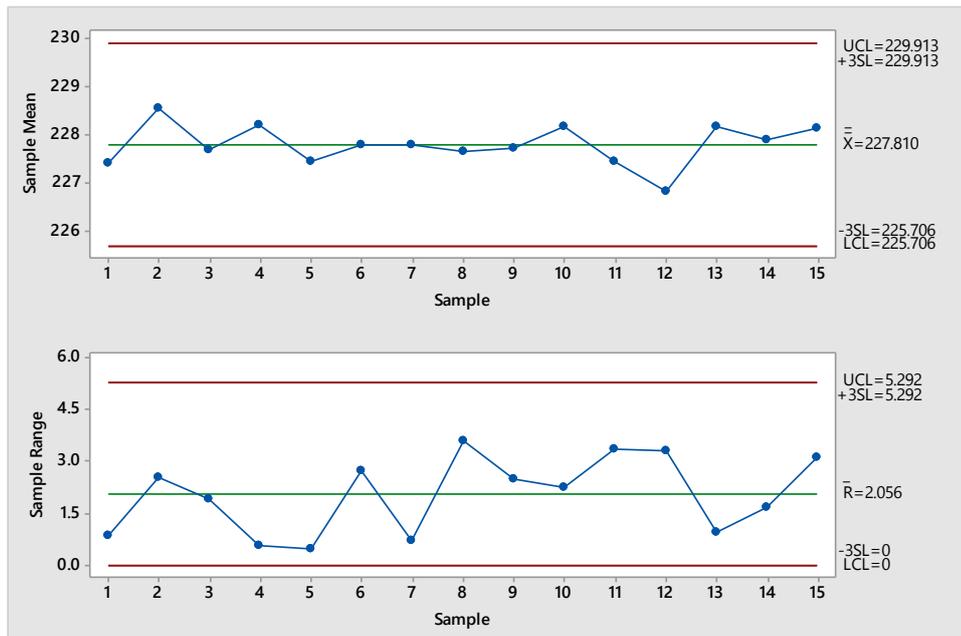
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
C2	5	226.889	1.171	0.524	(225.435, 228.343)	-1.86	0.137

LAMPIRAN 8

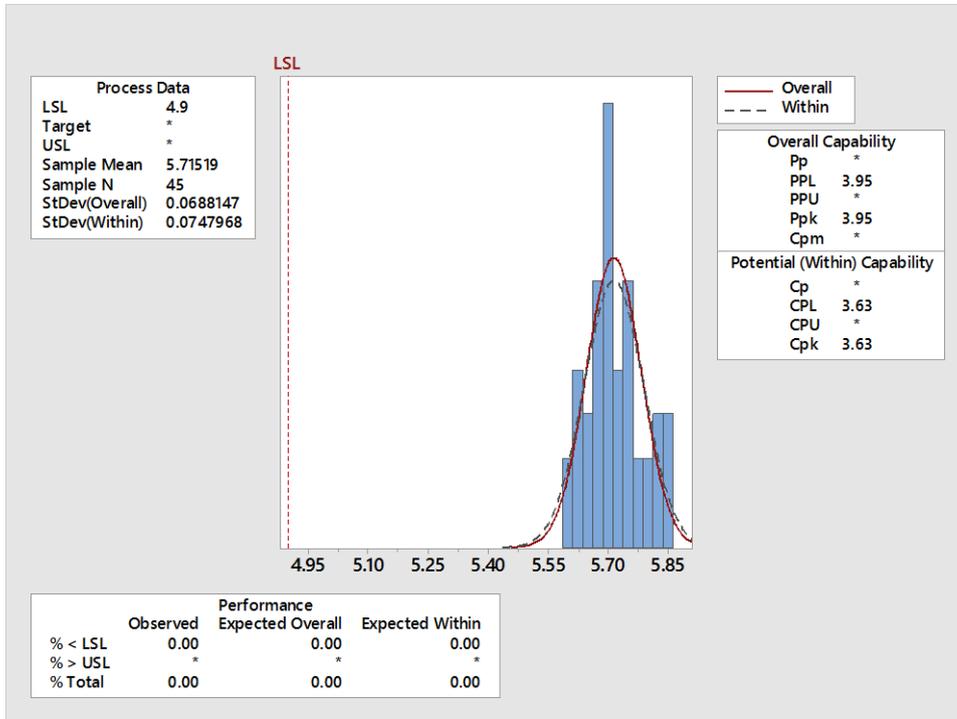
**Peta kendali \bar{X} dan R untuk kekuatan tarik
sesudah dilakukan optimasi**



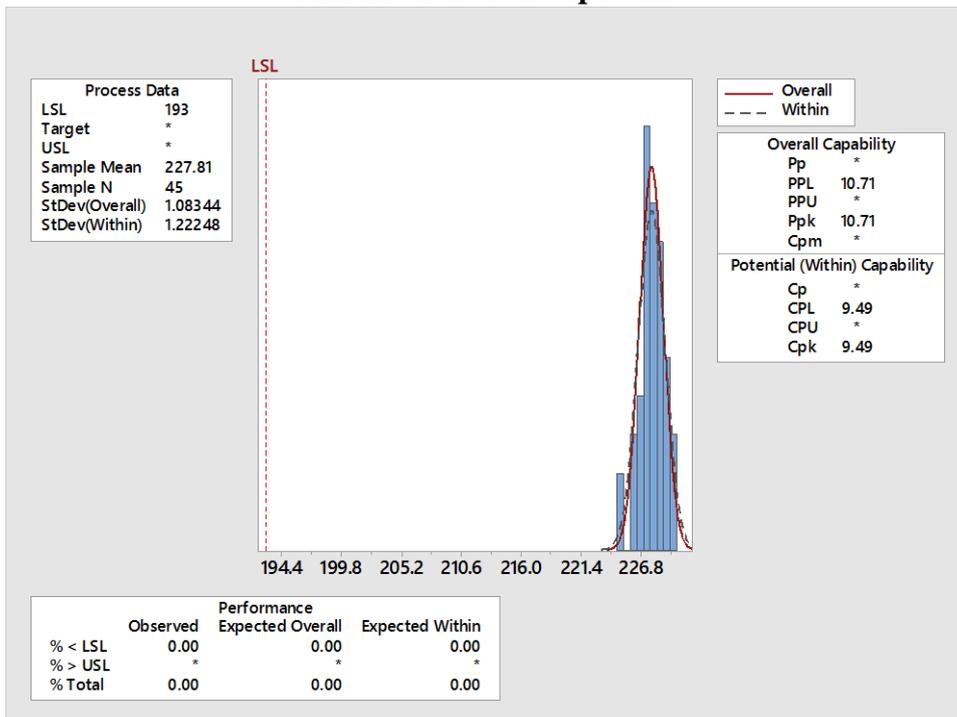
**Peta kendali \bar{X} dan R untuk perpanjangan putus
sesudah dilakukan optimasi**



Analisis kemampuan proses untuk kekuatan tarik sesudah dilakukan optimasi



Analisis kemampuan proses untuk perpanjangan putus sesudah dilakukan optimasi



BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 14 Agustus 1994 di Sidoarjo, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan di MINU Pucang Sidoarjo (2000-2006), SMPN 3 Sidoarjo (2006-2009) dan SMAN 1 Sidoarjo (2009-2012). Pada tahun 2016, penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada tahun yang sama penulis berkesempatan melanjutkan pendidikan magister di Departemen Manajemen Teknologi, Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang keahlian yang diambil penulis adalah Manajemen Industri. Pada saat ini, penulis bekerja pada salah satu perusahaan yang bergerak di bidang kelistrikan dan otomasi industri. Alamat korespondensi dengan penulis yaitu zainamarta@gmail.com.

