

TUGAS AKHIR - TM 184835

**OPTIMASI GAYA TEKAN DAN TORSI UNTUK PROSES
DRILLING DENGAN MATERIAL *NATURAL FIBER*
*REINFORCED SANDWICH COMPOSITES***

BENEDICTUS HARJUNADI KRIS ERLIANTO

NRP 02111840000008

Dosen Pembimbing

Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

NIP. 198204142010121001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



TUGAS AKHIR - TM 184835

**OPTIMASI GAYA TEKAN DAN TORSI UNTUK PROSES DRILLING DENGAN
MATERIAL *NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES***

Benedictus Harjunadi Kris Erlianto
NRP 0211184000008

Dosen Pembimbing
Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP 198204142010121001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022



FINAL PROJECT - TM 184835

***THRUST FORCE AND TORQUE OPTIMIZATION FOR DRILLING PROCESS
OF NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES MATERIAL***

Benedictus Harjunadi Kris Erlianto
NRP 0211184000008

Advisor
Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.
NIP 198204142010121001

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI GAYA TEKAN DAN TORSI UNTUK PROSES DRILLING DENGAN MATERIAL *NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES*

TUGAS AKHIR

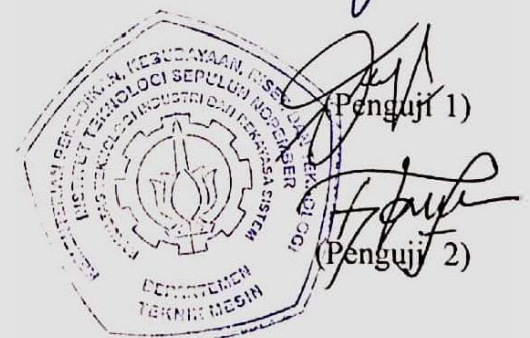
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rckayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Benedictus Harjunadi Kris Erlianto**
NRP. 0211184000008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng.,Ph.D.
NIP. 198204142010121001
2. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP. 198905132019032013
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001
4. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.
NIP. 198604012015041001


(Pembimbing)




(Penguji 3)

SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

THRUST FORCE AND TORQUE OPTIMIZATION FOR DRILLING PROCESS OF NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES MATERIAL

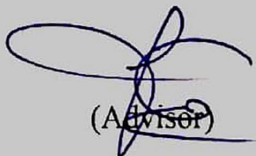
FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Departement of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

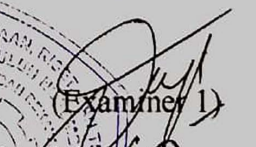
By : **Benedictus Harjunadi Kris Erlianto**
NRP. 0211184000008

Approved by Final Project Examiner Team :

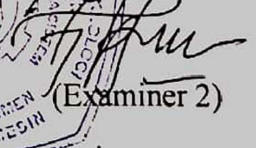
1. Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng.,Ph.D.
NIP. 198204142010121001
2. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP. 19890513201932013
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001
4. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.
NIP. 198604012015041001




(Advisor)




(Examiner 1)



(Examiner 2)



(Examiner 3)



SURABAYA
July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Benedictus Harjunadi Kris Erlianto/0211184000008
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing/NIP : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng, Ph.D./
198204142010121001

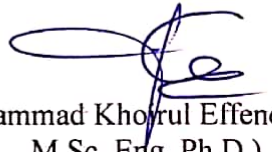
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “OPTIMASI GAYA TEKAN DAN TORSI UNTUK PROSES DRILLING DENGAN MATERIAL *NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



(Mohammad Khoirul Effendi, S.T.,
M.Sc. Eng, Ph.D.)
NIP. 198204142010121001



(Benedictus Harjunadi Kris Erlianto)
NRP.02111840000008

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

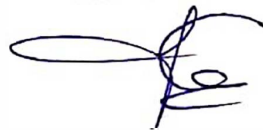
Name of Student /NRP : Benedictus Harjunadi Kris Erlianto/0211184000008
Department : Teknik Mesin
Advisor/NIP : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng, Ph.D./
198204142010121001

Hereby declare that the Final Project with the title of “THRUST FORCE AND TORQUE OPTIMIZATION FOR DRILLING PROCESS OF NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES MATERIAL” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25th July 2022

Acknowledged
Advisor



(Mohammad Khoirul Effendi, S.T.,
M.Sc. Eng, Ph.D.)
NIP. 198204142010121001

Student



(Benedictus Harjunadi Kris Erlianto)
NRP.02111840000008

OPTIMASI GAYA TEKAN DAN TORSI UNTUK PROSES DRILLING DENGAN MATERIAL NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES

Nama Mahasiswa : Benedictus Harjunadi Kris Erlianto
NRP : 0211184000008
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Machining adalah proses dimana material dibuang dari benda kerja sehingga terbentuk sebuah produk dengan bentuk dan ukuran tertentu. Salah satu jenis *machining* adalah *gurdi*(drilling). Proses *gurdi* merupakan proses pembuatan lubang dengan menekankan sebuah *gurdi* berputar pada objek. *spindle speed*, *feeding*, *point angle of tool* dan *work sample* adalah parameter utama yang harus diperhatikan dalam proses *gurdi* karena akan berpengaruh terhadap besarnya gaya tekan dan torsi.

Penelitian ini berfokus pada proses *drilling* pada material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites* dengan data yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan oleh *Department of Mechanical Engineering, Dr. M.G.R Educational and Research Institute University, Maduravoyal, Chennai- 600095, Tamilnadu, India* pada tahun 2014. Dikarenakan hasil optimasi dilihat masih dapat ditingkatkan oleh sebab itu dilakukan penelitian untuk melakukan optimasi dari proses *gurdi*. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan gaya tekan dan torsi minimal terhadap benda kerja. Optimasi ini menggunakan input variasi *spindle speed*, *feeding*, *point angle of tool* dan *work sample* dari suatu proses *gurdi*. Metode permodelan yang digunakan adalah *Backpropagation Neural Network* (BPNN) untuk memodelkan hubungan antara respon (besarnya gaya tekan dan torsi). Jaringan yang dihasilkan oleh BPNN selanjutnya digunakan untuk metode GA dan SA guna mendapatkan gaya tekan dan torsi seminimal mungkin. Secara umum, semakin banyak data yang digunakan oleh BPNN, maka hasil optimasi yang didapatkan akan semakin baik.

Hasil dari penelitian ini akan dibandingkan dengan paper referensi (Rajamanickam, 2014). Hasil minimum yang diperoleh dari percobaan menggunakan BPNN untuk gaya tekan adalah dengan 3 hidden layers, masing-masing 5, 2, 5 neuron, dengan fungsi aktivasi *tansig*, *tansig*, *tansig* dan didapatkan MSE 0,00045 sedangkan untuk torsi adalah dengan 3 hidden layers, masing-masing 3, 7, 4 neuron, dan didapatkan MSE 0,00654. Hasil minimum yang diperoleh dari percobaan menggunakan BPNN-GA dengan parameter input yang digunakan adalah *spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,27 mm/rev, *point angle of tool* 60°, dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample* 1, *work sample* 1 merupakan material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites* dengan *mechanical properties tensile strength* sebesar 71,73 MPa, *tensile modulus* 1736 MPa, *tensile strain at break* 9,5%, *flexural strength* 133,11 MPa, *flexural modulus* 2894 MPa, *flexural strain at break* 7%, *compressive strength* 122,21 MPa, *impact energy* 11 Joule diperoleh parameter respon gaya tekan 77,2892 N dan torsi 4,2534 Nm. Sedangkan hasil minimum yang diperoleh dari percobaan menggunakan BPNN-SA parameter input yang digunakan adalah *spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,26 mm/rev, *point angle of tool* 60°, dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample* 1, *work sample* 1 merupakan material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites* dengan *mechanical properties tensile strength* sebesar 71,73 MPa, *tensile modulus* 1736 MPa, *tensile strain at break* 9,5%, *flexural strength* 133,11 MPa, *flexural modulus* 2894 MPa, *flexural strain at break* 7%, *compressive strength* 122,21 MPa, *impact energy* 11 Joule diperoleh parameter respon gaya tekan 77,3982 N sedangkan torsi 4,1985 Nm.

Kata kunci: *Drilling, Backpropagation Neural Network, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*

THRUST FORCE AND TORQUE OPTIMIZATION FOR DRILLING PROCESS OF NATURAL FIBER REINFORCED SANDWICH COMPOSITES MATERIAL

Student Name : Benedictus Harjunadi Kris Erlianto
NRP : 0211184000008
Department : Mechanical Engineering
Advisor : Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Machining is a process where material is removed from the workpiece to form a product with a certain shape and size. One type of machining is drill (drilling). The drilling process is the process of making a hole by emphasizing a rotating drill on the object. spindle speed, feeding, point angle of tool and work sample are the main parameters that must be considered in the drilling process because they will affect the magnitude of the compressive force and torque.

This research focuses on the drilling process on Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites with data obtained from experiments conducted by the Department of Mechanical Engineering, Dr. M.G.R Educational and Research Institute University, Maduravoyal, Chennai-600095, Tamilnadu, India in 2014. Due to the optimization results, it is seen that they can still be improved, therefore research is carried out to optimize the drill process. Optimization is carried out to obtain minimal compressive force and torque on the workpiece. This optimization uses input variations of spindle speed, feeding, point angle of tool and work samples from a drill process. The modeling method used is Backpropagation Neural Network (BPNN) to model the relationship between the response (the magnitude of the compressive force and torque). The network generated by BPNN is then used for the GA and SA methods in order to obtain the minimum possible compressive force and torque. In general, the more data used by BPNN, the optimization results will be better.

The results of this study will be compared with reference papers (Rajamanickam, 2014). The minimum result obtained from the experiment using BPNN for compressive forces is with 3 hidden layers, each 5, 2, 5 neurons, with activation functions tansig, tansig, tansig and obtained MSE 0,00045 while for torsion is with 3 hidden layers, each 3, 7, 4 neurons, and obtained MSE 0,00654. The minimum results obtained from the experiment using BPNN-GA with the input parameters used are spindle speed 500 rpm, feeding 0,2693 mm/rev, point angle of tool 60°, and the work sample used is work sample 1, work sample 1 is Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites material with mechanical properties tensile strength of 71,73 MPa, tensile modulus 1736 MPa, tensile strain at break 9.5%, flexural strength 133,11 MPa, flexural modulus 2894 MPa, flexural strain at break 7%, compressive strength of 122,21 MPa, impact energy of 11 Joules, the response parameters of the compressive force are 77,2964 N and the torque is 4.2495 Nm. While the minimum results obtained from the experiment using BPNN-SA, the input parameters used are spindle speed 500 rpm, feeding 0,2586 mm/rev, point angle of tool 60°, and the work sample used is work sample 1, work sample 1 is Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites material with mechanical properties tensile strength of 71,73 MPa, tensile modulus 1736 MPa, tensile strain at break 9.5%, flexural strength 133,11 MPa, flexural modulus 2894 MPa, flexural strain at break 7%, compressive strength of 122,21 MPa, impact energy of 11 Joules, the response parameter of the compressive force is 77,2207 N while the torque is 4,2506 Nm.

Keywords: *Drilling, Backpropagation Neural Network, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas penyertaan dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat kelulusan S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, dan doa yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua, adik, dan saudara penulis yang selalu memberikan dukungan berupa doa, material, dan kasih sayang.
2. Bapak Mohammad Khoirul Effendi, S.T., M.Sc.Eng. Ph.D. selaku dosen pembimbing.
3. Bapak dan Ibu dosen S1 Teknik Mesin serta dosen mata kuliah yang pernah penulis ambil.
4. Teman-teman penulis, terutama David Verrel Juliano dan Florence Fedora Agustina Tambunan yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman penulis dari grup “Kutu” yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Semua teman angkatan penulis, M61, dan SMRM.
7. Kepada diri sendiri yang tidak menyerah mengerjakan penelitian ini sampai akhir.

Penulis mengharapkan agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca dan penelitian berikutnya. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Asumsi Penelitian	2
1.5 Tujuan Penelitian	2
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Proses Gurdi	5
2.3 Geometri Pahat	6
2.4 Material Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites	7
2.5 Gaya Pemotongan Dalam Proses Gurdi	11
2.6 Elemen Dasar Proses Gurdi	13
2.7 Keausan Pahat	15
2.8 Artificial Neural Network	16
2.9 Backpropagation Neural Network	17
2.10 Algoritma Genetika	17
2.11 Simulated Annealing	19
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.1.1 Studi Literatur	21
3.1.2 Data	22
3.1.3 Permodelan BPNN	23
3.1.4 Optimasi dengan Metode GA dan SA	25
	x

3.1.5	Komparasi Hasil	27
3.1.6	Penarikan Kesimpulan dan Saran	27
BAB IV		
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		28
4.1	Pengaruh Setiap Parameter Terhadap Fungsi Tujuan	28
4.2	Parameter Respon atau Target	28
4.3	Pemodelan BPNN	28
4.4	Optimasi Multi-Objective Menggunakan Metode GA dan SA	33
4.5	Perbandingan Metode GA dan SA	35
4.6	Pendekatan Hasil Prediksi ke Hasil Sebenarnya	36
4.7	Perbandingan Hasil Penelitian Sebelumnya dengan Optimasi Saat Ini	36
BAB V		
KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39
DAFTAR PUSTAKA		41
LAMPIRAN		43

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses gurdi (drilling).....	5
Gambar 2.2 Geometri Pahat Gurdi (Twist Drill) (Rochim, 1993).....	7
Gambar 2.3 Pengaruh penyerapan air serat alam pada sifat mekanik komposit laminasi: (a) serat membengkak setelah penyerapan air, (b) mekanisme kapiler, molekul air mengalir di sepanjang antarmuka serat-matriks, (c) zat larut dalam air pelindian dari serat, dan (d) debonding serat akhir.....	9
Gambar 2.4 Contoh bentuk <i>core</i> untuk struktur <i>sandwich</i>	9
Gambar 2.5 Klasifikasi Bahan Seluler sebagai inti untuk struktur <i>sandwich</i>	10
Gambar 2.6 a). Teori pemotongan geram b). Lingkaran Gaya Pemotongan (Lingkaran Merchan) c).Penampang geram (Rochim, 1993).....	11
Gambar 2.7 Gaya pemotongan pada proses gurdi (Rochim, 1993).....	12
Gambar 2.8 Point Angle pada Proses Drilling	13
Gambar 2.9 Thrust Force pada Proses Drilling	14
Gambar 2.10 Kurva keausan pahat potong (Rochim, 1993)	16
Gambar 2.11 Artificial Neural Network	16
Gambar 2.12 Backpropagation Neural Network	17
Gambar 2.13 Flowchart Genetic Algorithm	19
Gambar 2.14 Flowchart Simulated Annealing	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan dengan BPNN	24
Gambar 3.3 Diagram alir optimasi dengan metode GA	25
Gambar 3.4 Diagram alir optimasi dengan metode SA	26
Gambar 4.1 Grafik koefisien hubungan BPNN <i>training, testing, validation</i> , dan <i>all</i> untuk (a) Gaya Tekan and (b) Torsi.....	29
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Target dengan Nilai Hasil Prediksi Gaya Tekan	32
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Target dengan Nilai Hasil Prediksi Torsi	33
Gambar 4.4 <i>Bestcost</i> vs iterasi Genetic Algorithm (GA).....	33
Gambar 4.5 <i>Bestcost</i> vs iterasi Simulated Annealing (SA).....	34
Gambar 4.6 Perbandingan Genetic Algorithm (GA) vs Simulated Annealing (SA).....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas keausan kritis (Rochim, 1993)	15
Tabel 3.1 Data Referensi.....	22
Tabel 3.2 <i>Mechanical Properties</i> dari <i>Work Sample</i>	23
Tabel 4.1 Permodelan terbaik dengan MSE terkecil untuk prediksi Gaya Tekan.....	29
Tabel 4.2 Permodelan terbaik dengan MSE terkecil untuk prediksi Torsi.....	30
Tabel 4.3 Rangkuman dari fungsi aktivasi, jumlah <i>hidden layer</i> , neuron dan MSE.....	30
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Target vs Nilai Hasil Prediksi <i>BPNN</i> Gaya Tekan.....	31
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Target vs Nilai Hasil Prediksi <i>BPNN</i> Torsi.....	32
Tabel 4.6 Hasil optimasi menggunakan metode <i>Genetic Algorithm (GA)</i>	34
Tabel 4.7 Hasil optimasi menggunakan metode <i>Simulated Annealing (SA)</i>	35
Tabel 4.8 Perbandingan waktu konvergensi GA dan SA.....	35

Tabel 4.9 Pendekatan hasil prediksi ke <i>tool</i> yang tersedia di pasaran (60°).....	36
Tabel 4.10 Pendekatan hasil prediksi ke <i>tool</i> yang tersedia di pasaran (90°).....	37
Tabel 4.11 Perbandingan hasil optimasi penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini.....	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permesinan adalah proses pembuatan benda kerja dengan menghilangkan material yang tidak diinginkan dari benda kerja. Machining dibagi menjadi logam dan non logam, untuk non logam umumnya benda kerja yang di gunakan berasal dari proses sebelumnya, seperti proses penuangan dan proses pembentukan. Proses permesinan dibagi menjadi dua yaitu permesinan non-tradisional dan permesinan tradisional. Permesinan non-tradisional contohnya seperti ECM, EDM, AJM. Sedangkan permesinan tradisional seperti *turning*, *milling*, *grinding*, *drilling*.

Proses gurdi adalah proses pembuatan lubang dengan menggunakan gurdi. Sedangkan proses untuk memperbesar lubang disebut *boring*. Gurdi adalah sebuah pahat pemotong yang ujungnya berputar dan memiliki satu atau beberapa sisi potong dan galur yang berhubungan kontinyu disepanjang badan gurdi. Pahat gurdi mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong berupa putaran poros utama mesin gurdi. Putaran tersebut dapat dipilih dari beberapa tingkatan putaran yang tersedia pada mesin gurdi, atau ditetapkan sekehendak bila sistem transmisi putaran mesin gurdi merupakan sistem berkesinambungan. Pada bagian pahat terdapat alur spiral yang berguna sebagai jalan keluarnya geram hasil penggurdian.

Pada proses gurdi diperlukan pemilihan variable-variabel yang tepat untuk menghasilkan produk yang baik. Gaya tekan dan torsi diminimalkan dikarenakan besarnya gaya tekan dan torsi mempengaruhi umur pahat, gaya tekan dan torsi yang besar mampu membuat pahat patah, dan juga beberapa material mengalami delaminasi. Parameter respon(*output*) yang dianalisis adalah gaya tekan dan torsi, dengan parameter input berupa *spindle speed*, *feeding*, *point angle of tool* dan *work sample*. Perbedaan *variable input* akan menghasilkan *output* yang berbeda.

Material komposit dipilih karena ringan namun memiliki kekuatan yang bagus, sehingga hal itu menghasilkan berat pesawat yang lebih ringan, dengan daya angkut yang lebih besar, hemat bahan bakar dan jarak tempuh yang lebih jauh. Bahan yang digunakan untuk komposit adalah bahan atau serat alami dikarenakan bahan ini sangat melimpah di alam. Material untuk komposit alami kali ini adalah *vetiver* (akar wangi), *jute* (rami) dan *fiberglass* (serat kaca). *Vetiver* memiliki kekuatan tarik yang baik, *jute* memiliki kekuatan yang baik, sulit dipotong dan dirobek, sedangkan *fiberglass* memiliki kelebihan tahan terhadap suhu tinggi, isolasi listrik yang baik serta tahan terhadap pembusukan.

Dari waktu ke waktu tentunya proses penggurdian memerlukan optimasi untuk mendapatkan hasil maksimal dari kerja yang minimal, dengan cara memvariasikan data melalui eksperimen.

Penelitian ini akan menggunakan BPNN *Genetic Algorithm(GA)-Simulated Annealing(SA)* untuk optimasinya. *Genetic algorithm* GA merupakan metode optimasi yang didasarkan pada prinsip-prinsip genetika dan seleksi alam. Elemen- elemen dasar dari GA adalah reproduksi, crossover, dan mutasi. (Santosa, 2017) *Simulated annealing* adalah metode optimasi yang berbasiskan probabilitas dan mekanika statistik, algoritma ini dapat digunakan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah yang membutuhkan pendekatan SA adalah masalah-masalah optimisasi kombinatorial, di mana ruang pencarian solusi yang ada terlalu besar, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan itu. (Yekti, 2015)

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diangkat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memilih parameter-parameter BPNN yang paling baik, sehingga didapatkan nilai kesalahan prediksi yang paling kecil?
2. Bagaimana menentukan *spindle speed*, *feeding*, *point angle of tool* dan *work sample* supaya mendapatkan respon gaya tekan dan torsi sekecil mungkin dengan menggunakan BPNN-GA dan BPNN-SA?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam proses penyelesaian tugas akhir ini bisa berjalan dengan fokus dan terarah, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan diambil dari Tugas Akhir dengan judul “Studi Optimasi Gaya Tekan dan Torsi Pada Penggurdian *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*” oleh Rajamanickam Vinayagamoorthy, Nagamalai Rajeswari dan Balasubramanian Karuppiyah.
2. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab 2021b
3. Jenis pahat gurdi yang digunakan adalah straight twist drill HSS M42 diameter 10 mm.
4. Pahat gurdi dengan 2 alur/flute.
5. Benda kerja menggunakan material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*.
6. Prosentase jumlah data untuk training, testing, dan validating adalah 70%, 15% dan 15%.
7. Hidden layer yang digunakan pada jaringan BPNN adalah 1 sampai 3 hidden layer dan tiap hidden layer terdiri dari 2 sampai 8 neuron, algoritma training yang digunakan adalah Lavenberg-Marquardt.
8. Pada *Genetic Algorithm* dilakukan *mutation* dengan dengan kemungkinan 0.01, *crossover* dipilih dengan kemungkinan 0.8 dan fungsi seleksi *roulette wheel*.
9. Pada *Simulated Annealing* initial temperature 0,1 dan *temperature reduction rate* 0,99.
10. Stopping criteria yang digunakan untuk semua metode jika nilai yang di generate sudah mulai konvergen atau jika pada BPNN jumlah Epoch = 3000, pada GA jumlah iterasi = 1000 dan pada SA jumlah iterasi = 1000
11. Bobot untuk gaya tekan dan torsi pada optimasi kali ini masing-masing adalah 50% dan 50%.
12. Penelitian ini belum sampai tahap konfirmasi eksperimental.

1.4 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Material pahat yang diasumsikan homogen dan isotropik.
2. Tidak memperhitungkan adanya pengaruh dari luar yang mempengaruhi kondisi material seperti korosi dan temperatur dari ruang eksperimen yang diasumsikan dengan suhu kamar.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang sudah ditetapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan parameter Neural Network yang cocok untuk memperoleh tingkat kesalahan prediksi respon yang paling kecil.
2. Menentukan *spindle speed*, *feeding*, *point angle of tool* dan *work sample* supaya mendapatkan respon gaya tekan dan torsi sekecil mungkin dengan menggunakan BPNN-GA dan BPNN-SA.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan nilai variabel (*spindle speed, feeding, point angle of tool* dan *work sample*) yang paling optimal.
2. Sebagai referensi untuk penelitian yang sejenis dalam rangka pengembangan pengetahuan dibidang optimasi proses gurdi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini meninjau beberapa penelitian terdahulu yaitu “Studi Optimasi Gaya Tekan dan Torsi pada Penggurdian *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*” oleh Rajamanickam Vinayagamoorthy, Nagamalai Rajeswari dan Balasubramanian Karupiah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui gaya tekan dan torsi selama proses *drilling* pada pengembangan *bio-degradable sandwich composites*. Studi tentang pengeboran plastik yang diperkuat dengan *natural fiber* menunjukkan bahwa *feeding* memiliki pengaruh besar pada gaya tekan dan torsi. Dalam penelitian sebelumnya, Vinayagamoorthy mengembangkan sembilan komposit baru dan membuat ekstensif analisis pada sifat-sifat seperti tarik, lentur, tekan dan kekuatan *impact*. (Vinayagamoorthy, 2014)

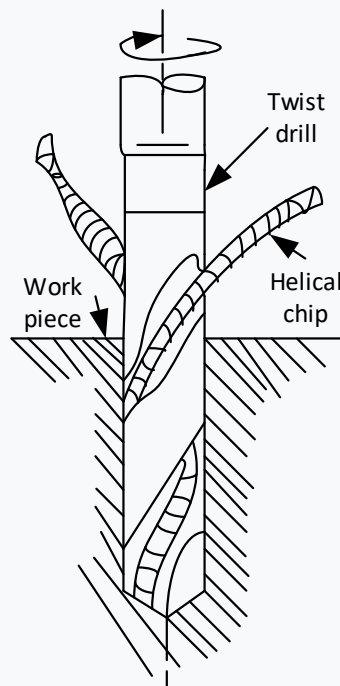
Penggunaan material komposit pada dunia perkapalan belakangan ini mengalami perkembangan yang cukup tinggi, salah satu contohnya penggunaan bahan limbah alami yang jarang dimanfaatkan. Dikarenakan masih kurangnya penelitian terhadap bahan komposit yang menggunakan limbah alami, maka diperlukan pengembangan penelitian terhadap kelayakan bahan komposit limbah alami. (Alfikri, 2016) Material komposit adalah material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Prinsip struktur *sandwich* adalah menggabungkan kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan core komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kaku, kuat tetapi ringan.

Selain itu penelitian ini juga meninjau penelitian terdahulu yaitu “*Multi-objective Optimization in Drilling Kevlar Fiber Reinforced Polymer Using Grey Fuzzy Analysis and Backpropagation Neural Network–Genetic Algorithm (BPNN–GA) Approaches*” tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan karakteristik multi-kinerja, seperti gaya dorong optimal, torsi, kekasaran permukaan lubang, delaminasi dan kebulatan lubang, dalam proses pengeboran dari polimer yang diperkuat serat Kevlar. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode optimasi GA berbasis BPNN dapat memprediksi secara akurat dan juga meningkatkan karakteristik kinerja ganda secara signifikan. (Soepangkat, 2019)

Serta penelitian ini juga meninjau penelitian terdahulu yaitu “*Multi-Response Optimization in Drilling of Glass Epoxy Polymer Composites Using Simulated Annealing Approach*” tujuan penelitian ini untuk menggambarkan penerapan pendekatan annealing simulasi (SA) untuk meminimalkan secara simultan berbagai aspek kemampuan mesin seperti gaya dorong, kekasaran permukaan lubang dan koefisien pemotongan spesifik selama pengeboran komposit polimer epoksi kaca. Penyelidikan eksperimental menunjukkan bahwa komposit epoksi kaca yang diisi SiC memberikan kemampuan pemesinan yang lebih baik dibandingkan dengan komposit epoksi kaca tanpa penambahan bahan pengisi. Model kemampuan mesin yang diusulkan kemudian digunakan dengan SA untuk memilih parameter optimal seperti kecepatan spindel dan umpan, yang menghasilkan gaya dorong minimal, kekasaran permukaan lubang, dan koefisien pemotongan spesifik. (Karnik, 2013)

2.2 Proses Gurdi

Proses Gurdi dapat disebut sebagai proses yang menghasilkan lubang silinder berdasarkan diameter dan kedalaman yang dibutuhkan dengan cara memutar tepi pahat gurdi guna menghilangkan bagian logam atau non logam. Seperti yang terlihat pada gambar 2.1 tanda lekukan dibuat di lokasi yang diperlukan dengan pukulan tengah. Pahat gurdi berputar ditekan di lokasi dan dimasukkan ke dalam benda kerja. Lubang bisa dibuat sampai kedalaman yang dibutuhkan. Mesin bor diproduksi dalam berbagai jenis dan ukuran sesuai dengan jenis operasi, jumlah umpan, kedalaman potong, kecepatan spindel, metode gerakan spindel, dan yang diperlukan ketepatan. (Dwi, 2010)



Gambar 2.1 Proses gurdi (Dwi, 2010)

Pada proses gurdi geram (chips) harus keluar melalui alur helix pahat gurdi ke luar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong, sehingga proses pendinginan menjadi relatif sulit. Proses pendinginan biasanya dilakukan dengan membanjiri benda kerja yang dilubangi dengan cairan pendingin, atau disemprot dengan cairan pendingin, atau cairan pendingin dimasukkan melalui lubang di tengah mata bor. [5]

Karakteristik proses gurdi agak berbeda dengan proses pemesinan yang lain, yaitu:

- Geram harus keluar dari lubang yang dibuat
- Geram yang keluar dapat menyebabkan masalah ketika ukurannya besar dan atau kontinyu
- Untuk pembuatan lubang dalam pada benda kerja yang besar, cairan pendingin dimasukkan ke permukaan potong melalui tengah mata pahat.

Rumus elemen-elemen dasar proses gurdi meliputi:

A. Pahat Potong

a. Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m/menit)} \quad (2.1)$$

b. Gerak makan per mata potong

$$fz = \frac{v}{n.z} \quad (\text{mm/putaran}) \quad (2.2)$$

c. Kedalaman potong
 $a = d/2 \quad (\text{mm}) \quad (2.3)$

d. Waktu pemotongan
 $t_c = l_t/v_f \quad (\text{menit}) \quad (2.4)$
 dimana, $l_t = l_v + l_w + l_n \quad (\text{mm})$

$$l_n = (d/2)/\tan k_r \quad (\text{mm})$$

e. Lebar pemotongan
 $b = \frac{d}{2 \sin Kr} \quad (\text{mm}) \quad (2.5)$

f. Kecepatan penghasil geram
 $Z = \frac{\pi.d^2.vf}{4 \times 1000} \quad (\text{cm}^3/\text{menit}) \quad (2.6)$

Dengan:

v = kecepatan potong

d = diameter pahat potong

n = putaran

fz = gerak makan

z = jumlah gigi (mata potong)

t_c = waktu pemotongan

v_f = kecepatan makan

a = gerak makan per sisi potong

b = lebar pemotongan

Kr = sudut potong utama

Z = kecepatan penghasil geram

l_t = panjang total Langkah pemotongan (mm)

l_v = langkah awal pemotongan (mm)

l_w = panjang pemotongan benda kerja (mm)

B. Mesin gurdi

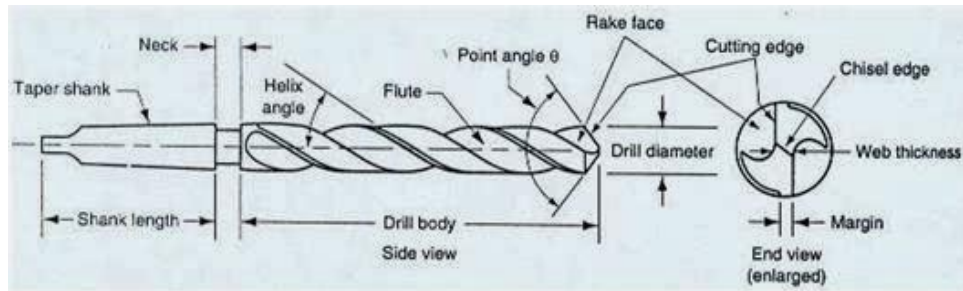
a. Putaran poros utama mesin

$$n = \frac{1000.v}{\pi.d} \quad (\text{putaran/menit}) \quad (2.7)$$

Selain elemen-elemen pada proses gurdi, juga ada dua sudut pahat yang penting, yaitu sudut potong utama (*principle cutting edge angle*) dan sudut geram (*rake angle*), yang memegang peranan penting dalam penentuan gaya pemotongan dan umur pahat.

2.3 Geometri Pahat

Pahat gurdi adalah sebuah pahat pemotong yang ujungnya berputar dan memiliki sisi potong dan galur yang berhubungan secara berkesinambungan disepanjang jalan pahat gurdi. Galur dapat berbentuk lurus atau helix, yang disediakan untuk memungkinkan lewatnya geram dan fluida pendingin. Pada proses gurdi terdapat berbagai tipe pahat yang digunakan. Sebagian besar proses pemesinan gurdi ini menggunakan pahat gurdi berjenis twist drill. Nama-nama bagian pahat ini ditunjukkan pada Gambar 2.2. Di antara bagian-bagian pahat tersebut yang paling utama adalah sudut helix (*helix angle*), 8 sudut ujung/sudut potong utama (*point angle/lip angle*), dan sudut bebas (*clearance angle*). (NOVI, 2017)



Gambar 2.2 Geometri Pahat Gurdi (Twist Drill) (Rochim, 1993)

Bagian-bagian utama dari twist drill adalah *body* (badan pahat), *point* (bagian dari ujung yang runcing), dan *shank* (tangkai). Twist drill dapat diklasifikasikan menurut materialnya, jenis tangkainya, jumlah flute, ukuran diameter dan geometri pahatnya. Berdasarkan jenis tangkainya, twist drill dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Tragedi, 2010):

1. Straight shank drill, jenis pahat ini mempunyai tangkai berbentuk silinder.
2. Taper shank drill, jenis pahat ini mempunyai tangkai berbentuk konis, yang sesuai untuk dipasang langsung pada spindel mesin.

Berdasarkan jumlah flute, twist drill dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Tragedi, 2010):

1. Single flute drill, pahat ini mempunyai satu flute dan digunakan untuk proses drill pada material plastik.
2. Two flute drill, pahat ini merupakan tipe drill konvensional.
3. Three flute drill, pahat ini merupakan tipe twist drill yang relatif baru dikembangkan pada proses pemotongan logam (metalcutting)

2.4 Material Natural Fiber Composites (NFC)

Penggunaan material komposit pada dunia perkapalan belakangan ini mengalami perkembangan yang cukup tinggi, salah satu contohnya penggunaan bahan limbah alami yang jarang dimanfaatkan. Dikarenakan masih kurangnya penelitian terhadap bahan komposit yang menggunakan limbah alami, maka diperlukan pengembangan penelitian terhadap kelayakan bahan komposit limbah alami. (Alfikri, 2016)

Material komposit adalah material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing – masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus daripada logam, memiliki kekuatan yang bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekuatan jenis (*modulus young/density*) yang lebih tinggi dari pada logam. Berikut tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat instrik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

Prinsip struktur *sandwich* adalah menggabungkan kulit komposit dengan modulus elastisitas tinggi dengan core komposit yang ringan sehingga diperoleh kombinasi bahan yang kaku, kuat tetapi ringan. Komposit polyester-fiberglass yang tipis dapat digunakan sebagai kulit

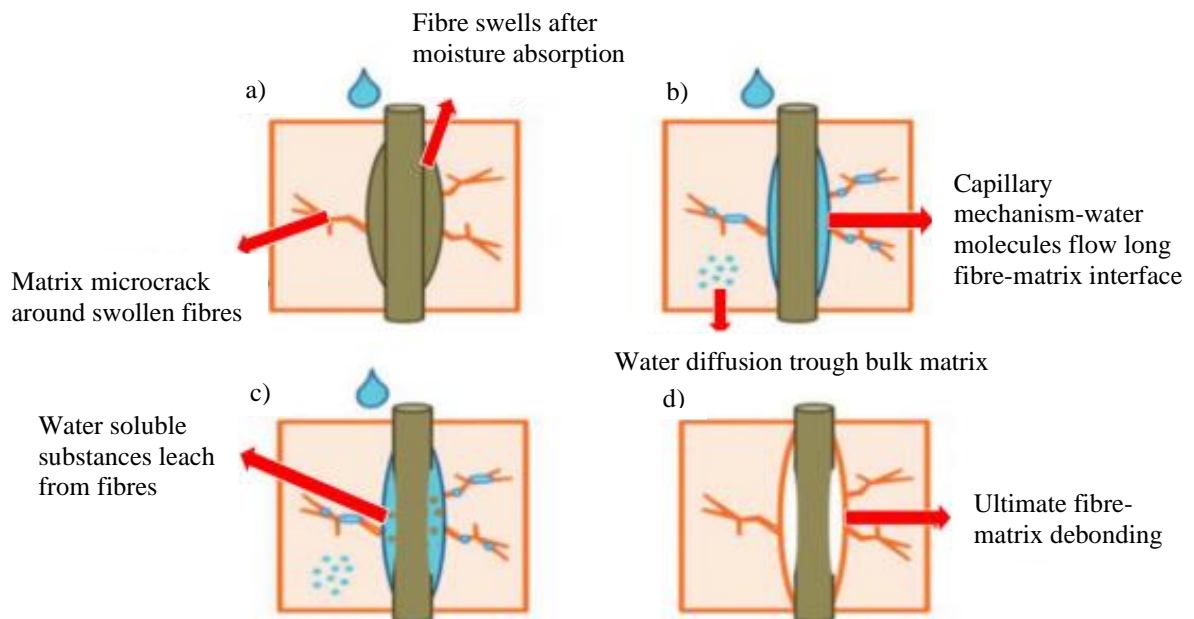
komposit sandwich. Namun demikian fiberglass yang merupakan serat sintetis mempunyai kelemahan, selain berat jenisnya lebih tinggi juga tidak baik untuk kesehatan. (Agus, 2014)

Struktur sandwich dikenal sebagai inti(*core*) yang melekat pada dua kulit yang teridentifikasi kaku dan kuat, inti mendistribusikan beban dari satu kulit ke kulit lainnya. Sementara kulit berkontribusi untuk kelenturan dan *turgidity*, perekat yang membawa beban geser dan aksial ke bahan inti digunakan sebagai bahan pengikat. Kulit (atau kadang disebut *face sheet*), dan dalam kasus yang jarang yang beratnya hanya beberapa milimeter, terdiri dari paduan ringan. Paduan ringan ini berkisar dari aluminium dan lapisan logam tunggal hingga dilaminasi atau diperkuat serat komposit. Dalam struktur sandwich, desain inti seperti *honeycomb*, *lattice*, *truss*, *web reinforce*, dan *cellular* biasanya digunakan. (Alsubari, 2021)

Keuntungan dari penggunaan Natural Fiber Composites adalah:

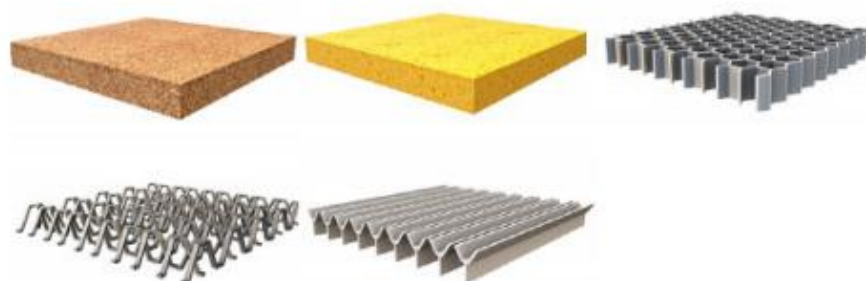
1. Sifat isolasi suara, akustik, dan listrik yang sangat bagus
2. Reaktivitas-bahan menyediakan situs untuk penyerapan air, dan juga tersedia untuk modifikasi kimia
3. Biodegradabilitas: sebagai akibat dari kecenderungan untuk menyerap air, alami serat akan terurai dalam keadaan tertentu melalui tindakan jamur dan/atau bakteri
4. Mudah terbakar: produk dapat dibuang melalui pembakaran di bagian akhir masa pakainya yang bermanfaat, dan energi dapat dihasilkan secara bersamaan
5. Sifat mekanik yang sangat baik, terutama kekuatan tarik. Dalam hubungan untuk beratnya, serat terbaik mencapai kekuatan yang mirip dengan Kevlar
6. Sifat abrasif dari serat alami jauh lebih rendah dibandingkan dengan kaca serat, yang mengarah pada keuntungan dalam hal aspek teknis, daur ulang bahan, atau pemrosesan bahan komposit
7. Serat tumbuhan adalah bahan baku terbarukan dan ketersediaannya tidak terbatas

Biasanya, serat alami seperti rami dan rami memiliki potensi tinggi untuk menggantikan serat sintetis tradisional. Di sisi lain, serat alam dianggap sebagai bahan yang menantang, karena sifat mekaniknya sangat bervariasi, tergantung pada sumbernya, metode penyimpanan, dan sifat. Masalah yang paling menonjol selama pembuatan NFC mencakup ketahanan air yang buruk, daya tahan rendah, dan adhesi serat-matriks yang buruk. Itu adhesi antarmuka yang buruk antara serat alami dan matriks polimernya adalah karena komposisi serat alam; hemiselulosa, pektin, dan lignin. Komponen ini menunjukkan hidrofilitas, di mana matriks biasanya hidrofobik, menyebabkan serat alami pengisi agar mudah dilepas, retak, retak, dan berkawah. Apalagi fenomena ini terjadi karena serat dan matriks yang tidak terikat kuat satu sama lain. Gambar 2.3(a,b,c) menjelaskan secara singkat bagaimana penyerapan air yang tinggi dari serat alami mengurangi keseluruhan kinerja mekanik NFC. Kurangnya ikatan antarmuka, dan penyerapan kelembaban, menyebabkan NFC kurang efisien untuk transfer tegangan, dan memiliki daya tahan yang rendah.



Gambar 2.3 Pengaruh penyerapan air serat alam pada sifat mekanik komposit laminasi (a) serat membengkak setelah penyerapan air (b) mekanisme kapiler, molekul air mengalir di sepanjang antarmuka serat-matriks, (c) zat larut dalam air pelindian dari serat dan (d) debonding serat akhir. (Alsubari, 2021)


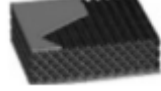
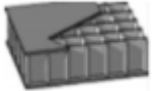

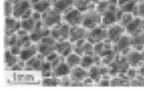
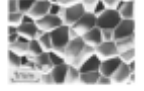








Namun, kemajuan NFC terus meningkat sejak upaya untuk mempromosikan daur ulang limbah tanaman menjadi barang untuk menggantikan serat sintetis dimulai. Serat alami sangat menjanjikan untuk aplikasi sebagai struktur sandwich, baik sebagai face sheet sandwich, atau struktur inti bagian dalam. Mereka dapat menggantikan sarang lebah aluminium, NOMEX, serat kaca, dan bahan tradisional lainnya dalam struktur sandwich, yang sangat berguna dalam aplikasi kedirgantaraan, mobil, sipil, dan kelautan. NFC ini diproduksi dengan lay-up tangan, pencetakan kompresi, dan teknik mengantongi vakum untuk mencapai yang baik, produk sandwich jadi. Penerapan NFC dalam struktur sandwich dapat memberikan sifat mekanik yang lebih baik, dan menggerakkan kinerja resistensi ke arah yang lebih luas daya tahan. Gambar 2.4 menampilkan contoh bentuk inti untuk struktur sandwich.



Gambar 2.4 Contoh bentuk *core* untuk struktur *sandwich* (Alsubari, 2021)

Ada beberapa jenis *core sandwich* yang telah dipelajari dalam beberapa tahun terakhir. Semua studi menargetkan pengembangan struktur ringan dengan kekuatan dan kekakuan yang baik. Saat ini, para peneliti sedang mencari inti seluler ringan pola dasar yang dapat digunakan dalam struktur sandwich, misalnya, sel stokastik dan periodik. Busa (sel

terbuka atau tertutup), diklasifikasikan sebagai struktur mikro acak, adalah salah satu bahan stokastik yang paling banyak digunakan. Di sisi lain, struktur periodik yang dihasilkan dari rantai sel unit dalam array dapat dikelompokkan menjadi: tiga kategori; struktur sarang lebah, topologi prismatic, dan struktur rangka kisi. Gambar 2.5 menunjukkan klasifikasi bahan seluler sebagai inti untuk struktur *sandwich*.

Cellular Materials					
Periods				Stochastic	
Three Dimensions (Lattice)		Two Dimensions		Open-cell	Closed-cell
Truss	Textile	Honeycombs	Prismatic		
Pyramidal 	Diamond Collinear 	Square 	Diamond 		
Tetrahedral 	Diamond Textile 	Hexagonal 	Triangular 		
3D Kagome 	Square Textile 	Triangular 	Navtruss 		

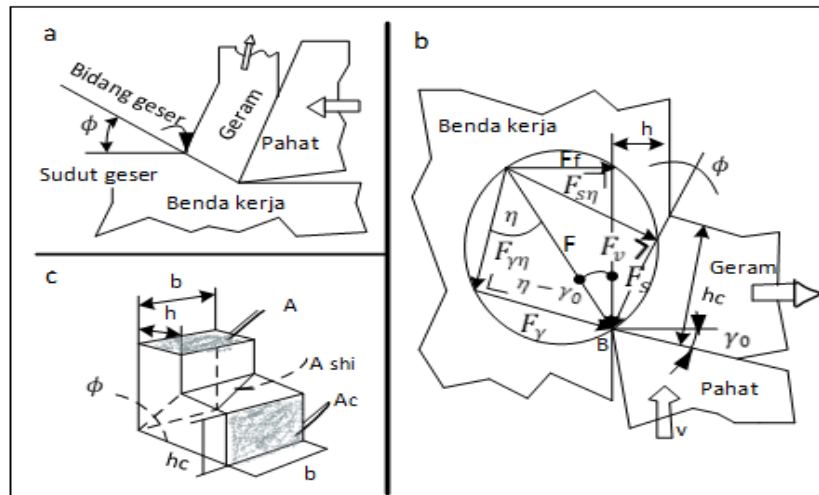
Gambar 2.5 Klasifikasi bahan seluler sebagai inti untuk struktur sandwich (Alsubari, 2021)

Contoh serat untuk bahan baku komposit:

- *Vetiver* (serat akar wangi)
Bahan serat akar wangi mempunyai kekuatan tarik yang baik sehingga banyak orang memakainya untuk membuat tali maupun dianyam untuk membuat alas duduk pada kursi. Serat alam sekarang banyak digunakan disamping karena jumlahnya banyak dan murah harganya, disamping itu serat alam ini merupakan bahan baku terbarukan serta dapat didaur ulang sehingga sering dimanfaatkan sebagai material penguat.
- *Fiberglass* (serat kaca)
Serat kaca digunakan dalam aplikasi industri skala besar, sebagai isolator suhu tinggi untuk konduktor listrik. Serat kaca elektronik adalah yang paling luas digunakan, baik di industri tekstil atau untuk bahan komposit, dan terdapat dalam 90% penguat. Serat berkualitas tinggi ini dibedakan oleh ketahanannya terhadap suhu tinggi dan sifat isolasi listriknya yang sangat baik. Serat ini tahan terhadap pembusukan, tahan terhadap bahan kimia yang paling umum dan stabil secara dimensi, bahkan jika ada variasi substansial dalam kelembaban dan suhu.
- *Jute* (rami)
Rami adalah serat nabati. Serat ini sangat murah untuk diproduksi, dan tingkat produksinya mirip dengan kapas. Seperti semua serat alami, rami dapat terurai secara hayati. "*Jute*" adalah nama tanaman atau serat yang digunakan untuk membuat kain goni, goni atau goni. Ini sangat kasar dan sangat sulit untuk dipotong atau dirobek.

2.5 Gaya Pemotongan Dalam Proses Gurdi

Pemotongan dalam proses pemesinan dianggap sebagai akibat konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh gaya tekan dari mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan menimbulkan tegangan geser yang maksimum. Karena tegangan geser tersebut melebihi kekuatan bahan benda kerja yang bersangkutan, terjadi deformasi plastis pada daerah tegangan yang dirambatkan oleh gerakan pahat. (NOVI, 2017). Deformasi plastis ini menggeser dan memutuskan material benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser, sehingga terbentuk geram seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.6(a,b,c) berikut ini.



Gambar 2.6 a). Teori pemotongan geram b). Lingkaran Gaya Pemotongan (Lingkaran Merchan) c).Penampang geram (Rochim, 1993)

Gaya potong adalah gaya yang menimbulkan tegangan geser yang menghasilkan deformasi plastis pada bidang geser. Pada perhitungan teoritik diasumsikan bahwa deformasi material benda kerja dalam proses pemotongan terjadi dalam dua dimensi, dan tegangan yang terdistribusi merata pada bidang geser. Berdasarkan analisa geometrik dari lingkaran gaya seperti ditunjukkan oleh gambar 2.6.b., perumusan dari gaya potong teoritik F_v adalah:

$$F_v = \frac{F_s \cos(\eta - \gamma_0)}{\cos(\phi + \eta - \gamma_0)} \quad (\text{N}) \quad (2.8)$$

dengan:

$$F_v = F \cos(\eta - \gamma_0) \quad (2.9)$$

$$F_s = F \cos(\phi + \eta - \gamma_0) \quad (2.10)$$

F adalah gaya total dan adalah gaya geser yang mendeformasikan material pada bidang geser sehingga melampaui batas elastis. dapat ditentukan dengan menggunakan penampang bidang geser dan tegangan geser yang terjadi, yaitu:

$$F_s = A_{shi} \tau_{shi} \quad (\text{N}) \quad (2.11)$$

Dengan

$$A_{shi} = A / \sin \phi = \text{penampang bidang geser (mm}^2\text{)}$$

Luas pemotongan:

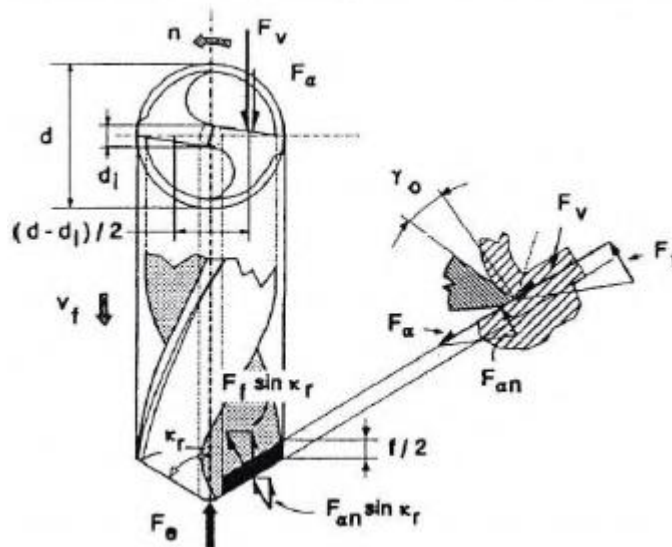
$$A = \frac{d - d_i}{2} \cdot \frac{f}{2} \quad (\text{mm}^2)$$

Dengan demikian gaya potong adalah:

$$F_v = \tau_{shi} A \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi + \eta - \gamma_0)} \quad (\text{N}) \quad (2.12)$$

$$F_v = \tau_{shi} A \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin\phi \cos(\phi+\eta-\gamma_0)} \text{ (N)} \quad (2.13)$$

Pada proses gurdi menggunakan pahat dengan dua mata potong, gaya pemotongan pada salah satu mata potong dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu F_v dan F_f , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 F_f adalah gaya makan yang searah dengan kecepatan makan. Penekanan yang terjadi pada proses gurdi berfungsi untuk melawan gaya ekstruksi yang cukup besar diujung pahat gurdi (karena kecepatan potong diujung pahat gurdi sama dengan nol, maka tidak terjadi pemotongan melainkan penekanan atau ekstruksi benda kerja), serta untuk melawan gesekan pada bidang utama atau mayor bagi kedua mata potong.



Gambar 2.7 Gaya pemotongan pada proses gurdi (Rochim, 1993)

Berdasarkan gambar 2.7, dapat diturunkan rumus gaya tangensial, yaitu:

$$F_t = F_v + F_\alpha \text{ (N)} \quad (2.14)$$

F_α adalah gaya gesek pada bidang utama, tergantung pada gaya gesek spesifik persatuan panjang aktif mata potong (K_f ; N/mm) yang dipengaruhi oleh geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin dan kondisi pemotongan.

Persamaan gaya gesek adalah:

$$F_\alpha = K_f \frac{d-di}{2\sin Kr} \text{ (N)} \quad (2.15)$$

Substitusi persamaan 2.13 dan persamaan 2.15 ke dalam persamaan 2.14 menghasilkan persamaan gaya tangensial berikut ini:

$$F_t = \tau_{shi} A \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin\phi \cos(\phi+\eta-\gamma_0)} + K_f \frac{d-di}{2\sin Kr} \quad (2.16)$$

Dengan:

- τ_{shi} adalah tegangan geser dinamik, yang merupakan sifat benda kerja dalam hubungannya proses pemotongan (N/mm²).
- γ_0 adalah sudut geram.
- η adalah sudut gesek, yang menentukan rasio antara gaya normal dan gaya tangensial yang dipengaruhi oleh kondisi pemotongan.
- Φ adalah sudut geser, merupakan sifat benda kerja dalam proses pemotongan dan dipengaruhi oleh material pahat potong dan kondisi pemotongan.

Momen torsi yang diperlukan agar pahat potong dapat berputar:

$$M = F_t \frac{d-di}{2} \text{ (N)} \quad (2.17)$$

Gaya tekan yang diperlukan agar proses pemakanan dapat berlangsung:

$$F_z = 2F_f \sin Kr + 2 F_{an} \sin Kr + F_e \text{ (N)} \quad (2.18)$$

Dengan:

F_z = gaya tekan total untuk dua sisi potong (N)

F_f = gaya makan (N)

$$F_f = F_v \tan(\eta - \gamma_0) \quad (2.19)$$

F_{an} = gaya normal pada bidang utama potong, tergantung pada gaya normal spesifik persatuan panjang aktif mata potong (k_n ; N/mm) yang dipengaruhi oleh jenis geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin dan kondisi pemotongan.

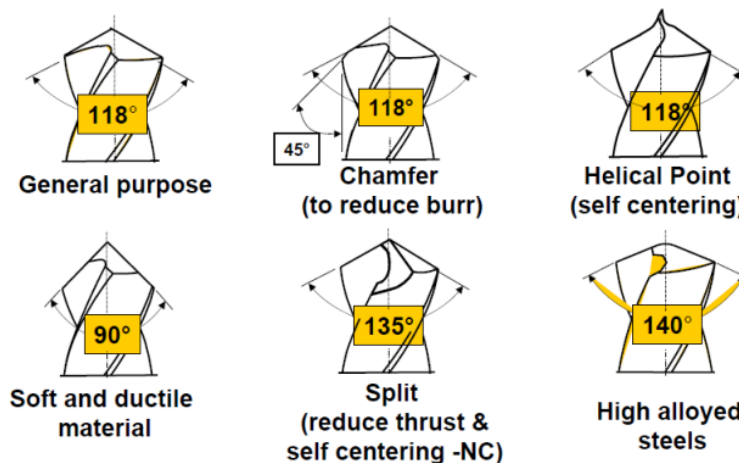
F_e = gaya ekstrusi yang terjadi di ujung pahat potong, sesuai dengan penampang diameter inti dari hasil percobaan umumnya berharga sekitar 50% sampai dengan 55% dari gaya tekan total (N).

Maka besarnya gaya tekan total yang terjadi adalah:

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_0) \sin Kr + k_n \frac{d-di}{2} \right\} \text{ (N)} \quad (2.20)$$

2.6 Elemen Dasar Proses Gurdi

a) Point angle of drill



Gambar 2.8 Point Angle pada Proses Drilling (Jason, 2005)

Point Angle adalah sudut potong dari pahat. Ada beberapa sudut potong yang dapat digunakan dalam proses drilling dan pemilihan sudut potong tersebut berdasarkan material dari benda kerja. Sudut yang paling banyak digunakan adalah 118° yang menyeimbangkan kemampuan mata potong untuk penetrasi baja dan mengontrol gaya yang muncul ketika melakukan proses drilling dan ditunjukkan pada gambar 2.8 Untuk material yang lebih lunak, seperti plastik akan lebih mudah dipenetrasi dibandingkan dengan material yang lebih keras. Hal ini dapat meningkatkan performansi dari mata potong dikarenakan gaya yang dibutuhkan akan berkurang. Namun, mata potong untuk plastik akan mudah bergerak dikarenakan ketika resistansi untuk penetrasi rendah, mata potong cenderung mendorong dibandingkan menyobek material, sehingga menyebabkannya bergerak. Hal ini dapat diatasi dengan mengaplikasikan sudut yang lebih curam untuk mata potong, yaitu 90° . Mata potong dengan sudut 90° memasuki material yang lunak lebih cepat dan bergerak melalui material tersebut dengan lebih efisien dibandingkan dengan mata potong dengan sudut 118° . Sudut yang lebih curam juga memiliki sisi potong atau bibir yang lebih panjang dibandingkan dengan sudut yang dangkal. Hal ini menunjukkan bahwa gaya potong pada sudut yang curam didistribusikan ke

luasan yang lebih besar. Sebaliknya, semakin besar luasannya maka semakin banyak bagian dari mata potong yang kontak dengan benda kerja, sehingga torsi yang bekerja dalam proses drilling tersebut akan meningkat. Sudut sudut potong yang lebih dangkal, misalnya 135° atau 140° telah terbukti lebih sukses dalam proses drilling pada material yang sulit untuk digurdi. Sudut potong ini memotong geram menjadi lebih tebal dibandingkan dengan sudut potong yang dangkal.

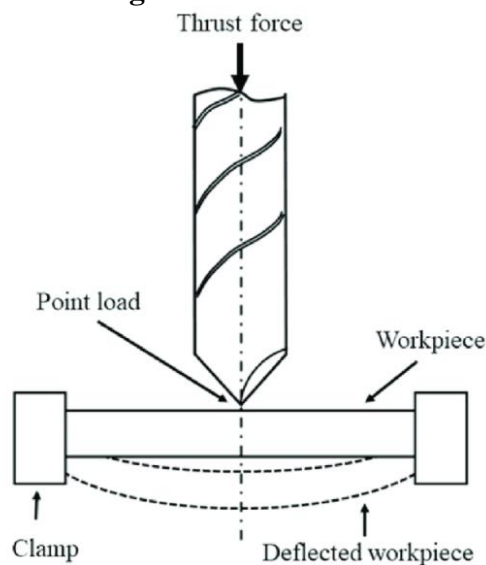
b) Feed rate dan feeding direction of drill

Feed rate atau gerak makan (f) dapat didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh oleh gerakan mata potong saat melubangi benda kerja sepanjang bidang potong setiap satu kali putaran spindle, sehingga satuan f adalah mm/putaran atau inch/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan pertimbangan beberapa hal yaitu: kesiapan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan, serta lama waktu pengerjaan yang diinginkan.

Mesin gurdi jenis gerak makan dilakukan secara manual (*hand-feed drilling machine*), tidak ada rumus tertentu yang digunakan, karena proses pemakanan dilakukan berdasarkan perkiraan operator mesin. Sedangkan untuk mesin gurdi dengan gerak makan dilakukan secara otomatis oleh tenaga motor listrik (*power-feed drilling machine*).

c) Thrust force dan Torque pada drilling tool

● **Thrust force pada drilling tool**



Gambar 2.9 Thrust Force pada Proses Drilling (Kistler guidebook)

Seperti terlihat pada gambar 2.9 gaya yang bekerja pada bibir drill dalam proses drilling ada pada tiga komponen, yaitu gaya aksial atau, gaya radial yang searah dengan gaya radial dari drill, dan gaya tangensial yang tegak lurus gaya aksial dan radial. Dengan kasus ideal dimana kedua bibir dari drill identik, komponen gaya radial saling menghilangkan. Lalu gaya aksial pada kedua bibir dijumlahkan dan menjadi gaya dorong atau yang dapat disebut sebagai *thrust force* yang merupakan gaya yang searah dengan gerakan pemakanan, sedangkan gaya tangensial yang bekerja pada kedua bibir akan membentuk torsi (M) yang bergerak melawan.

● **Torque pada drilling tool**

Torsi merupakan gaya eksternal yang menyebabkan benda bergerak melingkar mengelilingi sumbu putarnya. Pengukuran torsi dapat dilakukan dengan menggunakan dynamometer.

d) Spindle speed

Spindle speed adalah kecepatan putar dari spindel dengan satuan revolusi per menit. Kecepatan putaran spindel ditentukan berdasarkan kecepatan potong (Rahdiyanta, 2010).

2.7 Keausan Pahat

Keausan pahat akan meningkat dengan bertambahnya waktu pemotongan pada proses gurdi, sampai suatu saat pahat yang bersangkutan dianggap tidak dapat lagi, karena telah ada tanda-tanda tertentu yang menunjukkan bahwa umur pahat telah habis. Semakin besar keausan atau kerusakan yang diderita pahat maka kondisi pahat akan semakin kritis. Jika pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat akan rusak (Tragedi, 2010). Keausan pahat potong akan dapat menimbulkan beberapa efek, antara lain kenaikan gaya potong, getaran atau chattering, penurunan kehalusan permukaan hasil pemesinan, perubahan dimensi (geometri) produk.

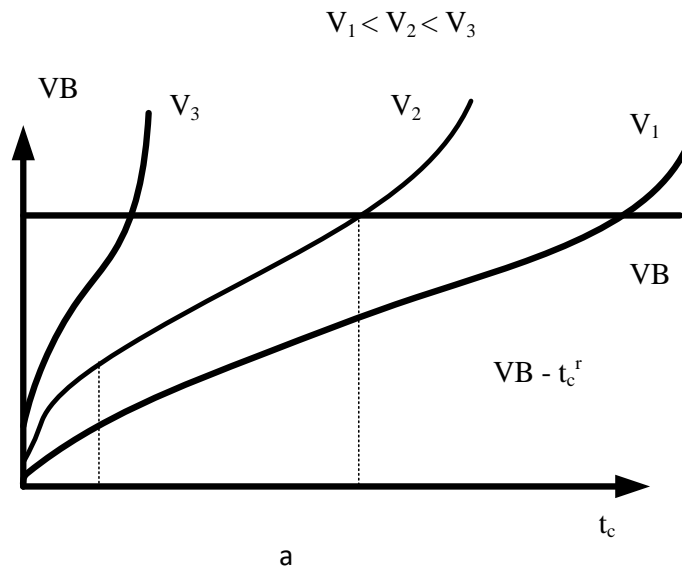
Dalam prakteknya umur pahat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berhubungan dengan proses pemesinan, contohnya jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan), cairan pendinginan dan jenis proses pemesinan. Untuk menghindari kerusakan atau efek yang ditimbulkan karena keausan pahat, ditetapkan suatu harga batas keausan (dimensi dari keausan tepi atau keausan kawah) yang dianggap sebagai batas krisis dimana pahat tidak boleh digunakan. Tabel 2.1 memperlihatkan batas keausan yang diijinkan bagi suatu jenis pahat yang digunakan untuk memotong suatu jenis benda kerja (Rochim, 1993)

Tabel 2.1 Batas keausan kritis (Rochim, 1993)

Pahat	Benda Kerja	VB (mm)	K
HSS	Baja dan Besi Tuang	0,3 s.d 0,8	-
Karbida	Baja	0,2 s.d 0,6	0,3
Karbida	Besi Tuang dan Non Ferrous	0,4 s.d 0,6	0,3
Keramik	Baja dan Besi Tuang	0,3	-

Dimensi dari umur pahat merupakan besaran waktu, yang dapat dihitung secara langsung maupun secara tidak langsung dengan mengkorelasikan terhadap besaran lain. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah prosedur perhitungan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

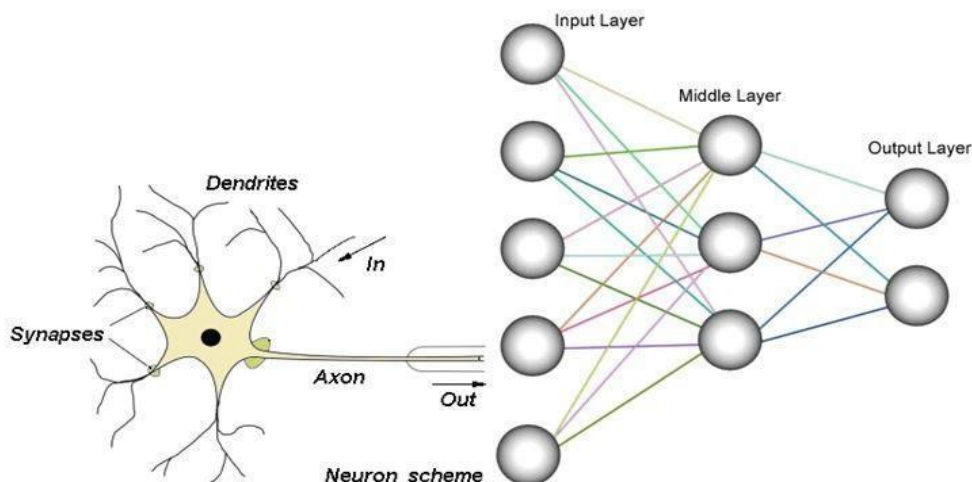
Pada dasarnya dimensi keausan menentukan batasan umur pahat sehingga kecepatan pertumbuhan keausan menentukan laju saat berakhirnya masa guna pahat. Pertumbuhan keausan tepi (flank wear) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10 Keausan dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat setelah pahat digunakan, diikuti pertumbuhan linier setara dengan bertambahnya waktu pemotongan. (NOVI, 2017)



Gambar 2.10 Kurva keausan pahat potong (Rochim, 1993)

2.8 Artificial Neural Network

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah paradigma pemrosesan informasi yang terinspirasi oleh cara sistem saraf biologis seperti otak, memproses informasi. JST terdiri dari beberapa lapisan elemen pemrosesan sederhana disebut sebagai neuron. Neuron melakukan dua fungsi, yaitu mengumpulkan input & membangkitkan output. Penggunaan ANN memberikan gambaran tentang teori, aturan belajar, dan aplikasi dari model jaringan saraf yang paling penting, definisi dan gaya komputasi. Model matematika jaringan menyoroti konsep input, bobot, penjumlahan fungsi, fungsi aktivasi & output. Kemudian ANN membantu memutuskan jenis pembelajaran untuk penyesuaian bobot dengan perubahan parameter. (Dongare, 2012) Ilustrasi cara kerja ANN dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut.

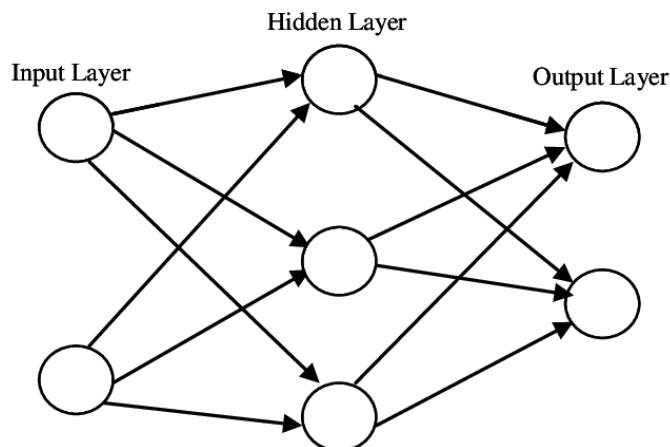


Gambar 2.11 Artificial Neural Network (Xin, 2013)

2.9 Backpropagation Neural Network

Backpropagation Neural Network (BPNN) adalah Jaringan Syaraf Tiruan feed-forward yang terdiri dari tiga atau lebih lapisan neuron yang saling berhubungan. BPNN saat ini merupakan arsitektur JST yang paling banyak digunakan. Algoritma pelatihan yang paling umum digunakan di BPNN adalah algoritma *backpropagation* (BP). BP dapat diterapkan ke BPNN mana pun yang menggunakan fungsi aktivasi dan pelatihan terawasi dan terdiri dari banyak langkah. (Abdulqader, 2011)

Syarat fungsi aktivasi dalam BPNN adalah bersifat kontinu, terdifferensial dengan mudah, dan merupakan fungsi yang tidak turun. Fungsi aktivasi yang dapat memenuhi ketiga syarat tersebut adalah logsig, tansig, dan purelin. Metode pengenalan merupakan proses inialisasi data yang akan diolah selanjutnya oleh BPNN. Data yang akan dikenali disajikan dalam bentuk vektor. Masing-masing data mempunyai target yang disajikan juga dalam bentuk vektor. Target atau keluaran acuan merupakan suatu peta karakter yang menunjukkan lokasi dari vektor masukan. Sedangkan metode pelatihan merupakan proses latihan mengenali data dan menyimpan pengetahuan atau informasi yang didapat ke dalam bobot-bobot. Terdapat 3 fase dalam pelatihan BPNN, yaitu fase maju (feed forward), fase mundur (back propagation), dan fase modifikasi bobot. Dalam fase feed forward, pola masukan dihitung maju dimulai dari lapisan input hingga lapisan output. Dalam fase back propagation, tiap-tiap unit output menerima target pola yang berhubungan dengan pola input untuk dihitung nilai kesalahan. Kesalahan tersebut akan dipropagasikan mundur. Sedangkan fase modifikasi bobot bertujuan untuk menurunkan kesalahan yang terjadi. Ketiga fase tersebut diulang secara terus menerus hingga kondisi penghentian dipenuhi. (Nazla, 2007). Ilustrasi cara kerja BPNN dapat dilihat pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 *Backpropagation Neural Network* (Syendi, 2013)

2.10 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika masuk dalam kelompok *Evolutionary Algorithm*. GA (*genetic algorithm*) didasarkan pada prinsip-prinsip genetika dan seleksi alam. Elemen-elemen dasar dari GA adalah reproduksi, crossover, dan mutasi. Algoritma ini banyak dipakai dalam penyelesaian masalah kombinatorial seperti TSP, *crew scheduling*, *airline*, hingga permasalahan kontrol. Dalam evolution-based approach biasanya akan dibangkitkan sejumlah populasi awal, lalu dilakukan prosedur tertentu seperti mutasi, seleksi, dan crossover akhirnya

didapatkan solusi akhir dari problem optimasi yang dihadapi. Dalam GA prosedur pencarian hanya didasarkan pada nilai fungsi tujuan, tidak ada pemakaian gradient atau teknik kalkulus. (Santosa, 2017)

Kelebihan metode optimasi *Genetic Algorithm* dibanding metode optimasi lain adalah GA merupakan algoritma berbasis populasi yang memungkinkan digunakan pada optimasi masalah dengan ruang pencarian yang sangat luas dan kompleks (bisa diimplementasikan pada berbagai macam data yang dibangkitkan secara numerik atau menggunakan fungsi analitis serta memiliki kecepatan tinggi. Namun algoritma genetika juga memiliki kekurangan, yaitu akurasinya rendah.

Fungsi *fitness/bestcost* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian suatu solusi dengan solusi yang dicari. Fungsi *fitness* bisa berhubungan langsung dengan fungsi tujuan, atau bisa juga sedikit modifikasi terhadap fungsi tujuan. Sejumlah solusi yang dibangkitkan dalam populasi akan dievaluasi menggunakan fungsi *fitness*.

$$Cost = (w1 \times cost1) + (w2 \times cost2) \quad (2.22)$$

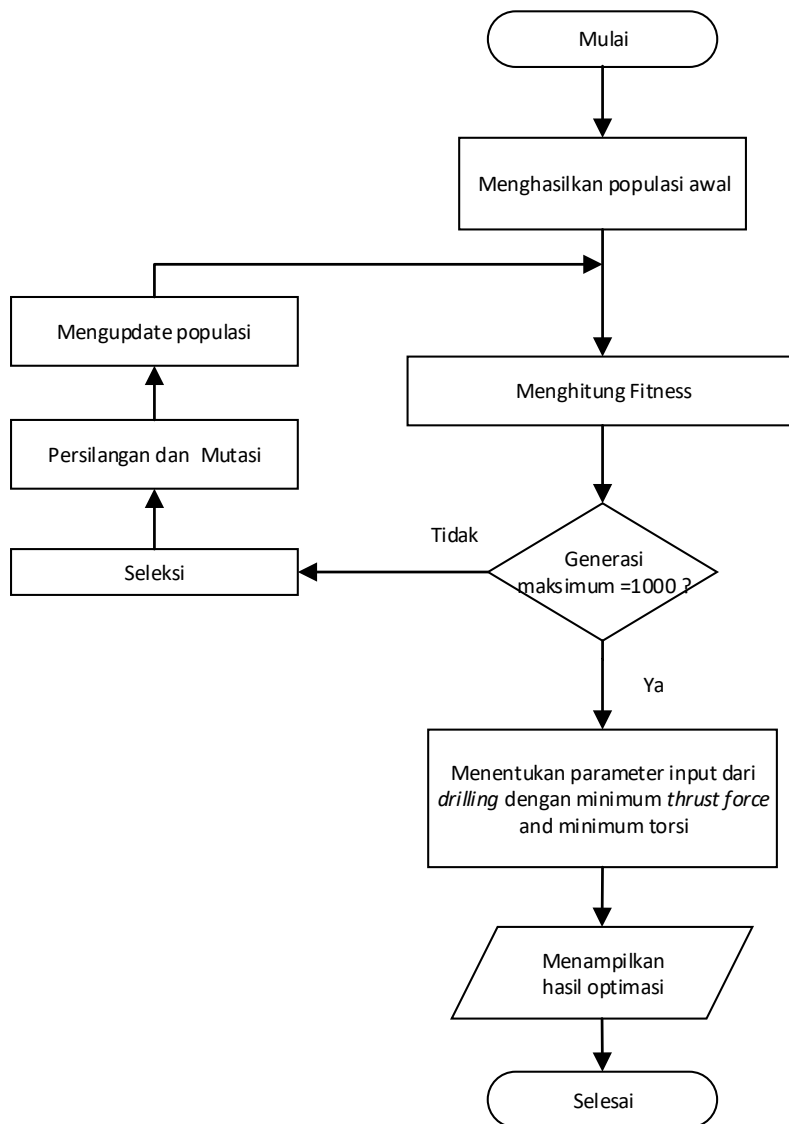
dengan: $w1 = weight$ dari gaya tekan (50%)

$w2 = weight$ dari torsi (50%)

$Cost1 = cost$ dari gaya tekan

$Cost2 = cost$ dari torsi

Default dari GA adalah mencari nilai minimum. Jika kita mempunyai lebih dari satu respon, maka response tersebut harus dijadikan 1 response. *Flowchart* dari metode optimasi *genetic algorithm* dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Flowchart Genetic Algorithm (Mirjalili, 2018)

2.11 Simulated Annealing

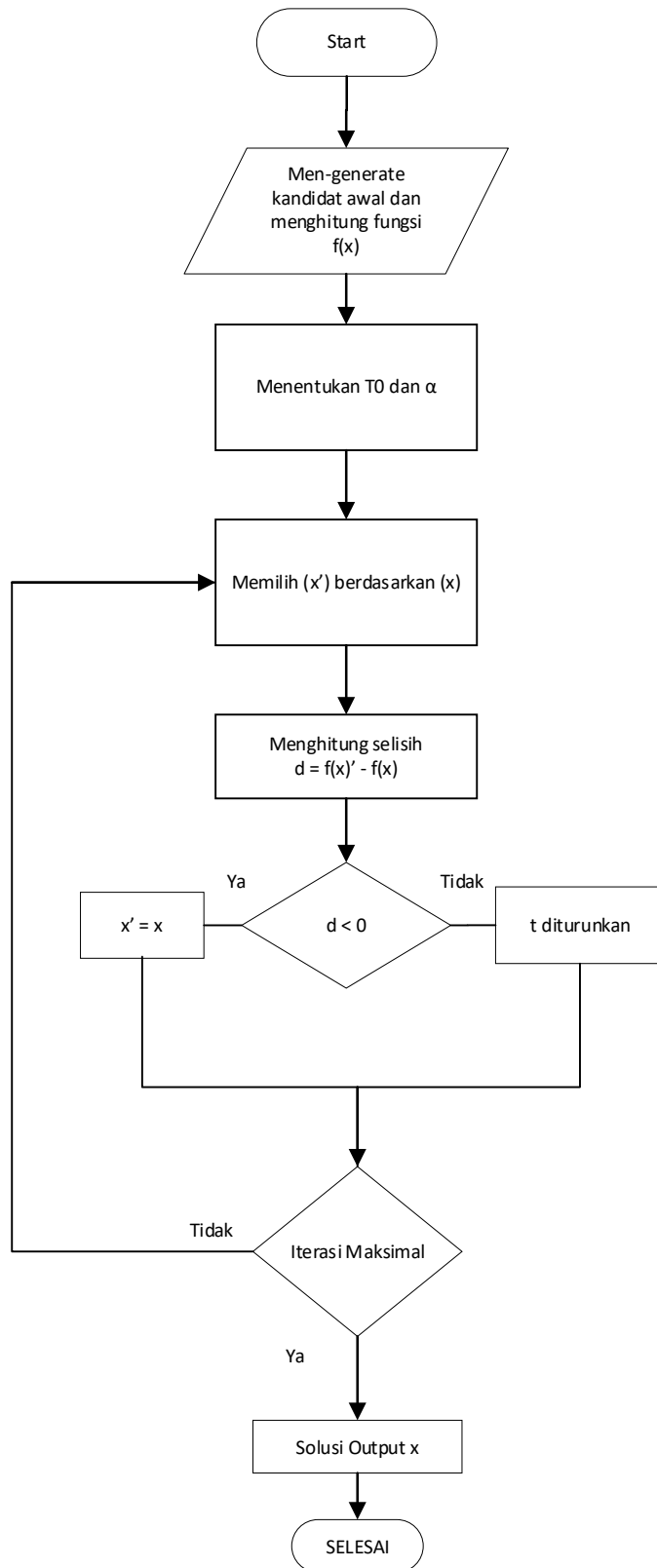
Simulated annealing (SA) adalah salah satu algoritma untuk optimisasi yang berbasiskan probabilitas dan mekanika statistik, algoritma ini dapat digunakan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah yang membutuhkan pendekatan SA adalah masalah-masalah optimisasi kombinatorial, di mana ruang pencarian solusi yang ada terlalu besar, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan itu. Algoritma SA mengeluarkan minimum lokal dengan menggunakan bilangan acak dalam pemilihan perpindahan. Pada setiap iterasi dari algoritma *Simulated Annealing*, perpindahan dipilih secara acak dan perubahan biaya dihitung untuk perpindahan. (Johan, 2011)

$$Cost = (w1 \times cost1) + (w2 \times cost2)$$

dengan: $w1 = weight$ dari gaya tekan (50%)

$w2 = weight$ dari torsi (50%)

Kelebihan metode optimasi *Simulated Annealing* adalah akurasi yang tinggi dan tidak mudah terjebak pada lokal optimal. *Flowchart* dari metode optimasi *simulated annealing* dapat dilihat pada gambar 2.14.

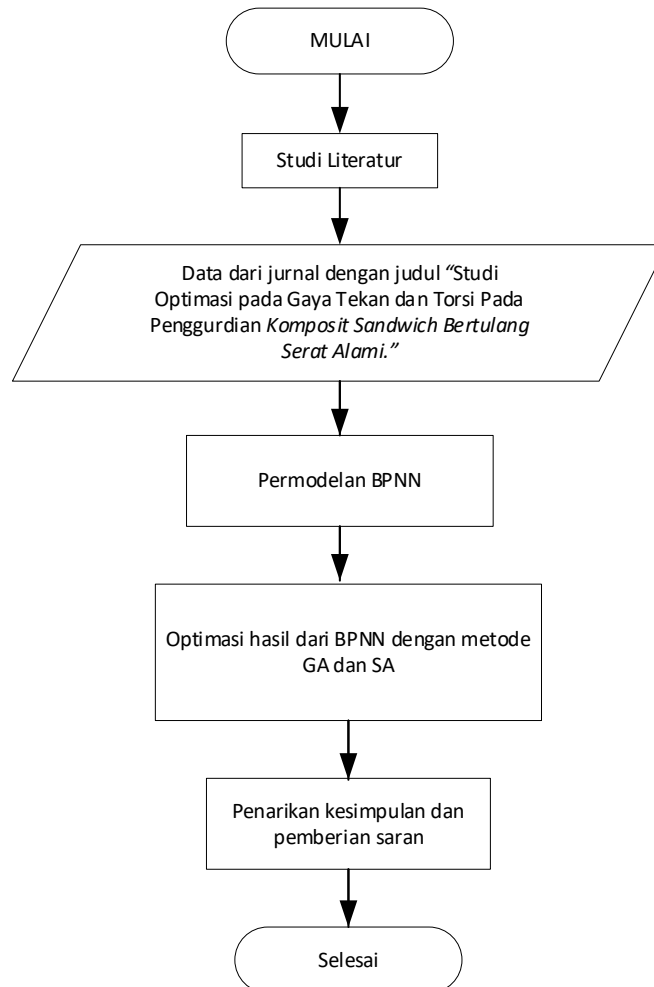


Gambar 2.14 *Flowchart Simulated Annealing* (Xin, 2013)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Aktifitas yang dilakukan pada penelitian ini digambarkan pada diagram alir penelitian pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mendalami landasan teori yang akan digunakan pada penelitian ini. Studi literatur dimulai dari mencari jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang meneliti tentang topik yang sejenis, yaitu mengenai proses drilling, Artificial Neural Network (ANN), Genetik Algoritma (GA), dan *Simulated Annealing* (SA).

3.1.2 Data

Penelitian kali ini menggunakan data yang berasal dari paper dengan judul “Studi Optimasi pada Gaya Tekan dan Torsi Pada Penggurdian *Komposit Sandwich Bertulang Serat Alami*.” oleh Rajamanickam Vinayagamoorthy, Nagamalai Rajeswari dan Balasubramanian Karuppiyah. Berikut data yang akan digunakan seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Data Referensi (Rajamanickam, 2014)

Run	Input Parameters				Output Parameters	
	Spindle speed (n) rpm	Feeding (f) mm/rev	Point angle of tool (a) degree	Work sample (D)	Thrust force N	Torque Nm
1	500	0,1	60	2	90,3	5,21
2	500	0,1	120	1	87,2	4,01
3	500	0,1	120	1	88,7	4,02
4	500	0,1	150	3	108,3	5,5
5	500	0,1	150	3	107,6	5,48
6	500	0,2	60	3	102,1	6,27
7	500	0,3	150	2	99,3	4,11
8	500	0,4	60	1	90,9	5,1
9	500	0,4	60	1	91,5	4,18
10	500	0,4	60	2	102,5	5,89
11	500	0,4	150	3	120,4	6,49
12	1000	0,1	120	2	94,1	4,9
13	1000	0,4	90	3	114,5	6,7
14	1000	0,4	150	1	94,8	4,72
15	1500	0,1	60	1	82,7	4,32
16	1500	0,3	60	2	96,3	5,48
17	2000	0,1	60	2	91,6	5,19
18	2000	0,1	90	3	99,3	5,73
19	2000	0,1	150	1	89,5	4,81
20	2000	0,2	120	2	91,5	5,39
21	2000	0,2	150	3	109	6,02
22	2000	0,3	90	1	86,3	4,94
23	2000	0,3	150	1	90,4	4,56
24	2000	0,4	60	3	111,4	7,08
25	2000	0,4	60	3	110,3	7,1
26	2000	0,4	120	3	115,3	6,54
27	2000	0,4	150	2	105,5	5,6
28	2000	0,4	150	2	106,4	5,5

Ada 3 work sample yang digunakan dengan *mechanical properties* dan *composition* yang ditunjukkan pada tabel 3.2 dan 3.3 seperti berikut:

Tabel 3.2 *Mechanical properties* dari *work sample* (Rajamanickam, 2014)

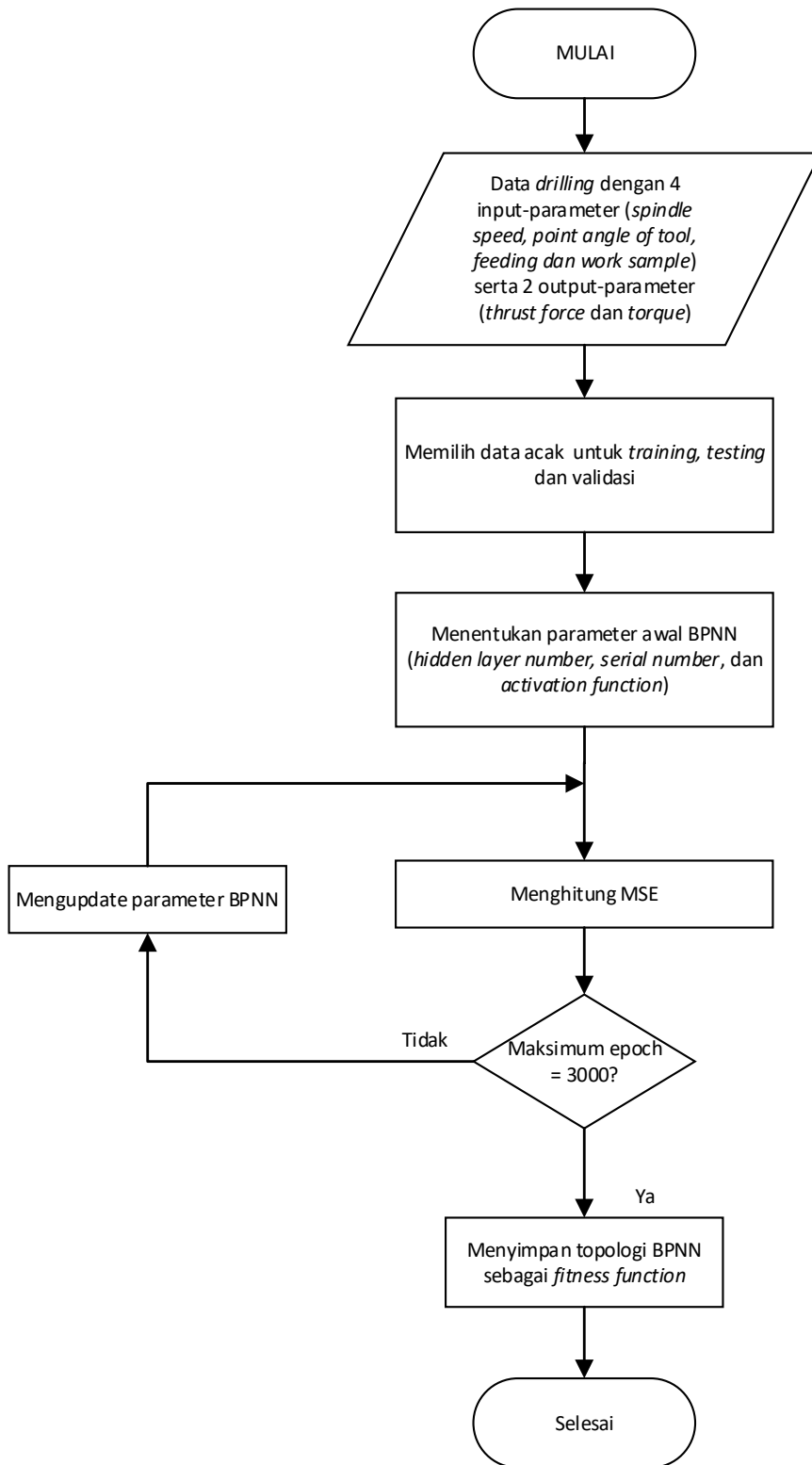
Sample	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Tensile strain at break (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)	Flexural strain at break (%)	Compressive strength (MPa)	Impact energy (J)
I	71.73	1736	9.5	133.11	2894	7	122.21	11
II	74.14	2105	7.5	131.9	3358	6.67	121.81	15.33
III	70.96	2318	7.5	137.6	2950	7	128.23	18.33

Tabel 3.3 *Composition* dari *work sample* (Rajamanickam, 2014)

Sample	Fiber Proportions (wt %)			Resin proportions (wt %)
	Vetiver	Jute	Glass	Vinyl ester
I	17	17	-	66
II	13	13	8	66
III	10	10	14	66

3.1.3 Permodelan BPNN

Diagram alir proses pemodelan BPNN untuk mendapatkan jaringan yang akan digunakan dalam proses optimasi BPNN-GA dan BPNN-SA ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut



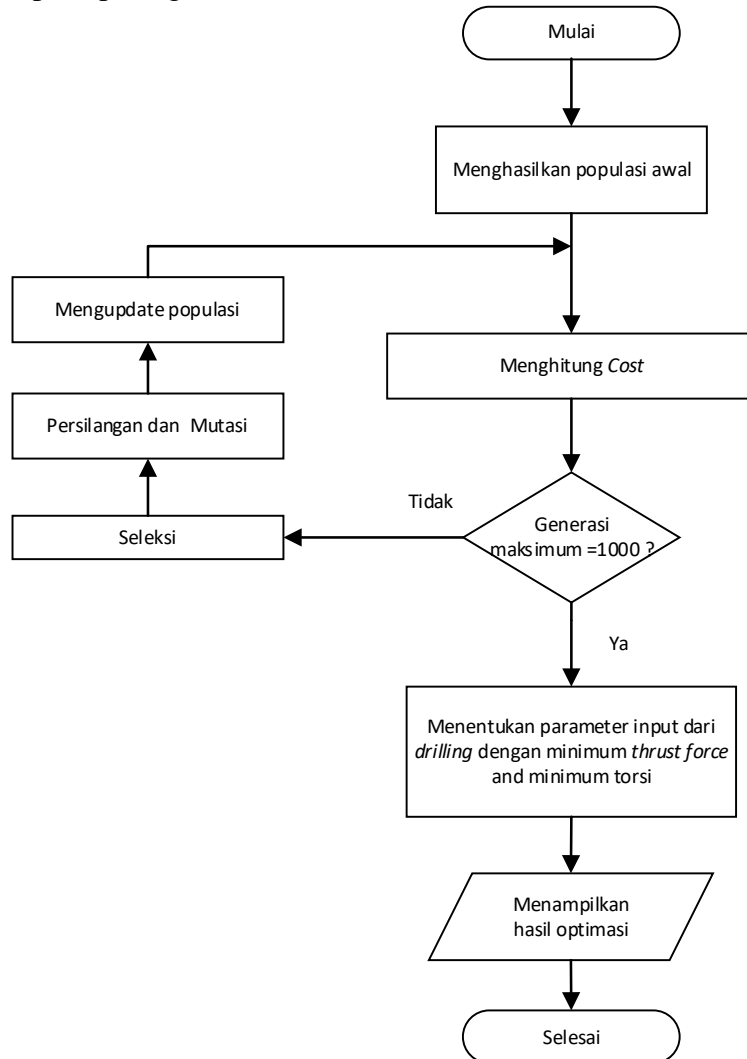
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan dengan BPNN

Jaringan yang digunakan dalam proses optimasi dengan BPNN-GA dan BPNN-SA dipilih dari jaringan yang menghasilkan nilai *mean square error* (MSE) terkecil. Pada proses ini, dibuat rancangan jaringan berdasarkan kombinasi parameter jumlah lapisan tersembunyi, jumlah neuron, dan fungsi aktivasi, kemudian dilakukan

proses *training*, *testing*, dan *validation* untuk seluruh rancangan jaringan. Jaringan dengan nilai MSE terkecil di maksimal *epoch* akan digunakan dalam proses optimasi.

3.1.4 Optimasi dengan Metode GA dan SA

Optimasi dengan metode GA digambarkan dengan diagram alir seperti pada gambar 3.3, sedangkan optimasi dengan metode SA digambarkan dengan diagram alir seperti pada gambar 3.4



Gambar 3.3 Diagram alir optimasi dengan metode GA

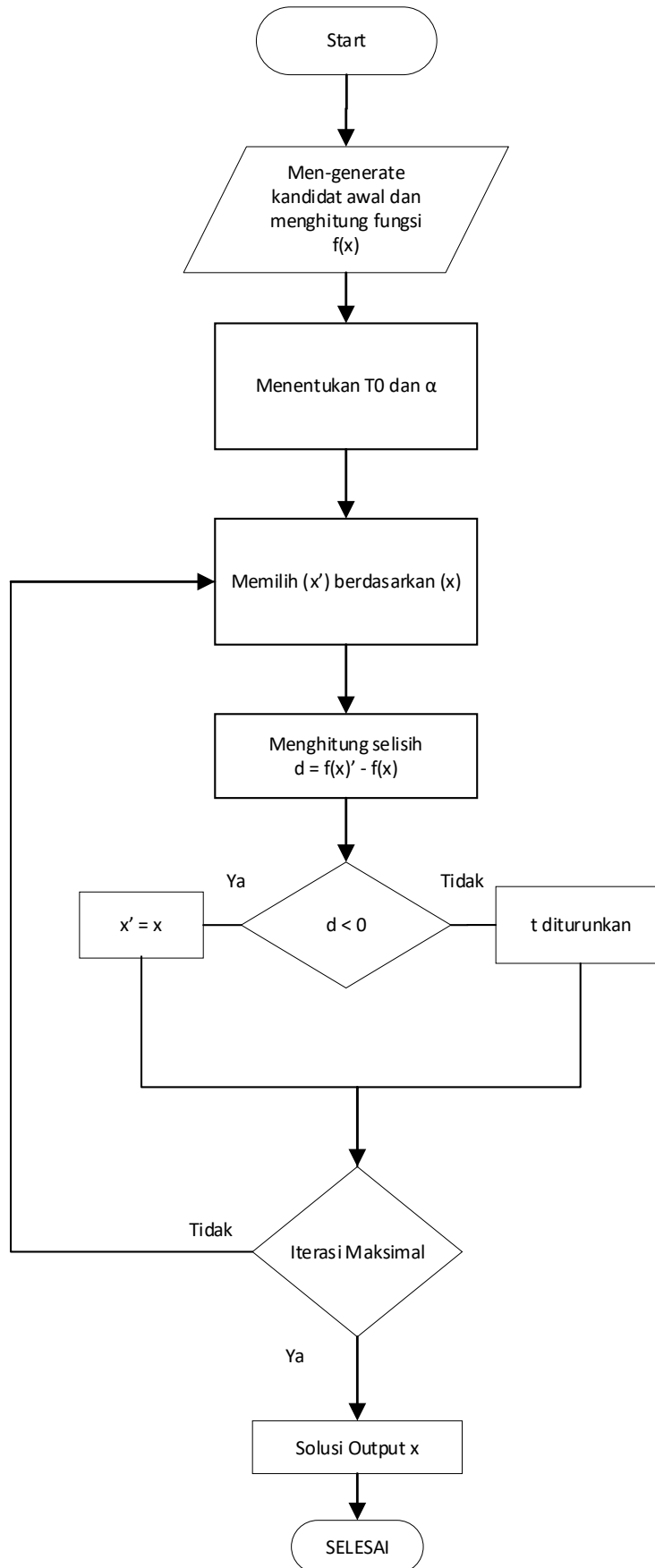
$$Cost = (w1 \times cost1) + (w2 \times cost2)$$

dengan: $w1 = weight$ dari gaya tekan (50%)

$w2 = weight$ dari torsi (50%)

$Cost1 = cost$ dari gaya tekan

$Cost2 = cost$ dari torsi



Gambar 3.4 Diagram alir optimasi dengan metode SA

$$Cost = (w1 \times cost1) + (w2 \times cost2)$$

dengan: $w1 = weight$ dari gaya tekan (50%)

$w2 = weight$ dari torsi (50%)

$Cost1 = cost$ dari gaya tekan

$Cost2 = cost$ dari torsi

3.1.5 Komparasi Hasil

Hasil yang didapat dari hasil optimasi menggunakan metode GA dan SA dibandingkan dengan hasil dari penelitian sebelumnya pada paper dengan judul “Studi Optimasi pada Gaya Tekan dan Torsi Pada Penggurdian Komposit *Sandwich* Bertulang Serat Alami.” oleh Rajamanickam Vinayagamorthy, Nagamalai Rajeswari dan Balasubramanian Karupiah. Komparasi ini dilakukan untuk membandingkan apakah nilai optimasi yang didapatkan bisa lebih optimal dari penelitian sebelumnya.

3.1.6 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan serta pemberian saran agar dapat membantu penelitian selanjutnya.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Setiap Parameter Terhadap Fungsi Tujuan

Parameter *input* maupun parameter respon dipilih berdasarkan data yang digunakan oleh percobaan yang dilakukan oleh *Department of Mechanical Engineering, Dr. M.G.R Educational and Research Institute University, Maduravoyal, Chennai- 600095, Tamilnadu, India* tahun 2014 mengenai proses *drilling* pada material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*.

4.2 Parameter Respon atau Target

Kemudian nilai *output* atau prediksi yang digunakan adalah *output* gabungan dari kedua parameter respon *Fz* dan *Mz* yang masing-masing diberi *weight* 0,5 dan dapat ditunjukkan dalam persamaan atau yang disebut sebagai *objective function* berikut,

$$\text{Obj. function} = (0,5 \times Fz) + (0,5 \times Mz) \quad (4.1)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \text{Obj. function} &= \text{Target atau gabungan parameter respon} \\ Fz &= \text{Thrust force (N)} \\ Mz &= \text{Torque (Nm)} \end{aligned}$$

4.3 Pemodelan BPNN

Sebelum masuk ke proses *training, testing dan validation neural network*, dilakukan normalisasi terhadap parameter *input* maupun target menggunakan perintah *mapminmax* pada *software* MATLAB dengan nilai minimum -1 dan nilai maksimum +1 yang dituliskan ke dalam bentuk persamaan sebagai berikut

$$x_{nj} = \frac{x_i - \min_a}{\max_a - \min_a} \times (\text{newmax}_a - \text{newmin}_a) + \text{newmin}_a \quad (4.2)$$

dimana

$$\begin{aligned} x_{nj} &= \text{Nilai } x \text{ ternormalisasi dari variabel ke-}j \\ x_i &= \text{Nilai } x \text{ awal} \\ \min_a &= \text{Nilai minimum dari keseluruhan data} \\ \max_a &= \text{Nilai maksimum dari keseluruhan data} \\ \text{newmax}_a &= \text{Nilai maksimum dari range yang ditentukan} \\ \text{newmin}_a &= \text{Nilai minimum dari range yang ditentukan} \end{aligned}$$

Dengan contoh perhitungan sebagai berikut: Digunakan data ke-18 dari variabel *spindle speed*, dimana $x_i = 2000$, $\min_a = 500$, $\max_a = 2000$, $\text{newmax}_a = 1$, dan $\text{newmin}_a = -1$, sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} x_{nj} &= \frac{2000-500}{2000-500} \cdot (1-(-1))+(-1)) \\ x_{nj} &= \frac{1500}{1500} \cdot (2)+(-1) \\ x_{nj} &= 1 \end{aligned}$$

Normalisasi ini diperlukan karena pada parameter input point angle of tool bernilai 60, 90, 120 atau 150 derajat, feeding dengan variasi nilai 0,1; 0,2; 0,3 0,4 mm/rev, spindle speed dengan variasi 500, 1000, 1500 dan 2000 rpm, sedangkan variasi work sample ada I, II dan III. Dikarenakan range nilai dari masing-masing variabel berbeda maka harus dilakukan normalisasi terlebih dahulu, sehingga nilai dari setiap parameter yang digunakan perlu dijadikan dalam satu range nilai yang sama.

Hasil pemodelan BPNN dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2, variasi yang digunakan adalah jumlah hidden layer 1 sampai 3, jumlah neuron 2 sampai 8 dan fungsi aktivasi yang digunakan adalah satlins, satlin, purelin, logsig, tansig. Model BPNN yang akan digunakan adalah model yang memiliki nilai MSE (*mean square error*) terkecil dengan parameter respon yaitu thrust force dan torque dan parameter input yaitu spindle speed, point angle of tool, feeding, dan work sample yang dinormalisasi dikarenakan range nilai dari parameter-parameter tersebut berbeda. Maksimum epochs dibatasi sampai 3000 dan persentasi training, testing dan validation adalah 70%, 15%, 15%. Untuk semua variasi data (tidak fullfactorial) digunakan kombinasi fungsi aktivasi satlins, satlin, purelin, logsig dan tansig, untuk variasi hidden layer digunakan satu sampai tiga hidden layer, untuk jumlah neuron digunakan dua sampai delapan neuron, semua kombinasi fungsi aktivasi, jumlah hidden layer dan jumlah neuron dirun full factorial. Hasil prediksi dari gaya tekan dengan menggunakan 3 hidden layer, fungsi aktivasi tansig, tansig, tansig dengan jumlah neuron berturut-turut adalah 5, 2, 5 didapatkan MSE terendah dengan nilai 0,00045 sedangkan hasil prediksi dari torsi dengan menggunakan 3 hidden layer, fungsi aktivasi satlin, tansig, satlin dengan jumlah neuron berturut-turut adalah 3, 7, 4 didapatkan MSE terendah dengan nilai 0,0065. Tabel 4.3 menampilkan perbandingan parameter input dan MSE dari gaya tekan dan torsi. Berikut merupakan grafik perbandingan antara nilai target dengan nilai hasil prediksi dari BPNN

Tabel 4.1 Permodelan terbaik dengan MSE terkecil untuk prediksi Gaya Tekan

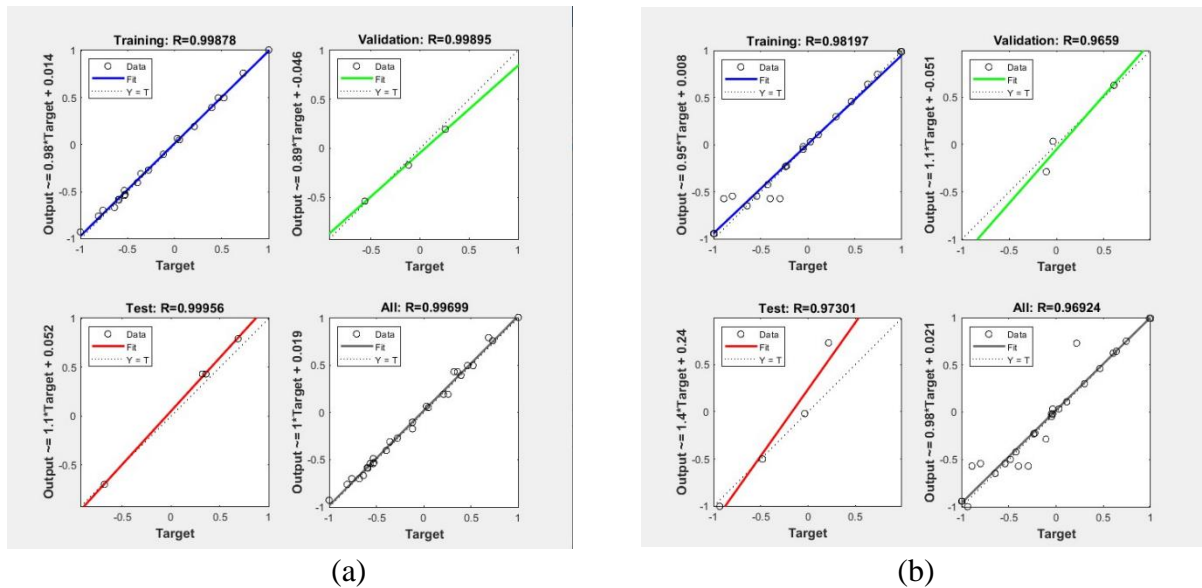
3 Layer	Tansig											
			Logsig					Tansig				
	Logsig	Tansig	Satlins	Satlin	Purelin	Logsig	Tansig	Satlins	Satlin	Purelin	Logsig	Tansig
	0,016131	0,17396	0,13911	0,407852	0,018066	0,009028	0,061435	0,175677	0,289096	0,017676	0,048988	0,145663
5 2 5	0,033042	0,197434	0,040741	0,038115	0,029029	0,014176	0,008583	0,066289	0,158262	0,019636	0,146051	0,017389
	0,155648	0,235533	0,003919	0,030805	0,022542	0,07014	0,014682	0,192727	0,165413	0,029182	0,079645	0,01804
	0,010668	0,152576	0,231093	0,019863	0,034742	0,529862	0,049045	0,036063	0,044598	0,09067	0,138415	0,033958
	0,151046	0,072674	0,133747	0,157768	0,123015	0,018545	0,034443	0,016038	0,086367	0,144977	0,240811	0,258988
	0,315478	0,023324	0,118799	0,143643	0,025735	0,076715	0,072821	0,111689	0,32106	0,19411	0,208227	0,184797
	0,038154	0,022167	0,051492	0,081129	0,029801	0,034387	0,033877	0,029989	0,196745	0,039186	0,09651	0,000453
	0,235439	0,06448	0,092578	0,026501	0,031576	0,233312	0,024203	0,178663	0,084663	0,009267	0,029206	0,015926
	0,420214	0,06774	0,04317	0,05076	0,050509	0,089798	0,020307	0,032016	0,05232	0,076679	0,006683	0,025316
	0,008367	0,013916	0,09896	0,074965	0,084615	0,108588	0,017638	0,129337	0,051918	0,278534	0,052084	0,015322
	0,039715	0,185255	0,005674	0,094963	0,035856	0,280189	0,101647	0,29507	0,052933	0,015855	0,07471	0,045604
	0,053383	0,19768	0,071705	0,055807	0,15351	0,172376	0,101526	0,066024	0,215771	0,07428	0,404171	0,034971

Tabel 4.2 Permodelan terbaik dengan MSE terkecil untuk prediksi Torsi

3 Layer	Satlin												
	Purelin				Logsig					Tansig			
	Satlin	Purelin	Logsig	Tansig	Satlin	Satlin	Purelin	Logsig	Tansig	Satlin	Satlin	Purelin	Logsig
3 7 4	0,061395	0,041218	0,052619	0,049725	0,054556	0,115006	0,348647	0,03568	0,139069	0,161614	0,16171	0,201384	0,029
	0,16891	0,17548	0,065117	0,775771	0,241383	0,234088	0,067605	0,094482	0,12658	0,070025	0,130377	0,027116	0,048
	0,119337	0,139222	0,119486	0,046427	0,119039	0,265411	0,286875	0,057654	0,124824	0,350424	0,180834	0,033974	0,127
	0,185989	0,051763	0,053883	0,099024	0,129971	0,107493	0,382303	0,285372	0,038601	0,043661	0,044606	0,04607	0,346
	0,03257	0,051365	0,093145	0,258179	0,037597	0,059721	0,127775	0,261291	0,048916	0,083775	0,389616	0,088602	0,14
	0,041681	0,067557	0,161617	0,328323	0,241972	0,152651	0,097602	0,133195	0,130629	0,302992	0,045573	0,106787	0,032
	0,345865	0,036632	0,028843	0,031915	0,123596	0,042936	0,098224	0,351228	0,169461	0,044119	0,333776	0,145717	0,093
	0,075662	0,031703	0,119488	0,090982	0,18242	0,139601	0,255782	0,072181	0,034086	0,155331	0,29318	0,028299	0,03
	0,155519	0,353804	0,200613	0,139398	0,100717	0,231096	0,108305	0,303421	0,060133	0,098887	0,196117	0,121386	0,38
	0,105518	0,4355	0,052101	0,186379	0,178926	0,1986	0,133806	0,19263	0,04237	0,407917	0,006543	0,046478	0,172
	0,12832	0,115634	0,114521	0,056597	0,079699	0,433371	0,464889	0,04925	0,212833	0,189722	0,113015	0,060248	0,074
	0,095245	0,025574	0,20972	0,052877	0,124351	0,121766	0,181455	0,115459	0,117187	0,118448	0,08414	0,317814	0,184

Tabel 4.3 Rangkuman dari fungsi aktivasi, jumlah *hidden layer*, neuron dan MSE

Parameter	Permodelan BPNN Gaya Tekan	Permodelan BPNN Torsi
Fungsi aktivasi	tansig, tansig, tansig	satlin, tansig, satlin
Jumlah <i>hidden layer</i>	3	3
Jumlah neuron	5, 2, 5	3, 7, 4
MSE	0,00045	0,0065



Gambar 4.1 Grafik koefisien hubungan BPNN *training*, *testing*, *validation*, dan *all* untuk (a) Gaya Tekan and (b) Torsi

Gambar 4.1a dan 4.1b menunjukkan grafik koefisien hubungan (*correlation coefficient*) untuk gaya tekan dan torsi. *Correlation coefficient* atau koefisiensi korelasi adalah ukuran statistik dari kekuatan hubungan antara pergerakan relatif dua variabel. Jika nilai R semakin mendekati 1 maka menunjukkan hubungan antara variabel tersebut semakin kuat. Sementara, jika nilai R mendekati 0 menunjukkan semakin tidak ada hubungan antara variabel tersebut.

Gambar 4.1a menunjukkan grafik regresi untuk gaya tekan, dimana grafik tersebut menunjukkan nilai hubungan antara target dengan respon dengan konstanta R. Nilai koefisien hubungan dari data training gaya tekan bernilai 0,99878 menandakan bahwa parameter input memiliki korelasi yang kuat terhadap gaya tekan. Sedangkan gambar 4.1b menunjukkan grafik regresi untuk torsi, dimana grafik tersebut menunjukkan nilai hubungan antara target dengan respon dengan konstanta R. Nilai koefisien hubungan dari data training torsi bernilai 0,98197 menandakan bahwa parameter input memiliki korelasi yang kuat terhadap torsi. Nilai error dari gaya tekan dan torsi dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 berikut:

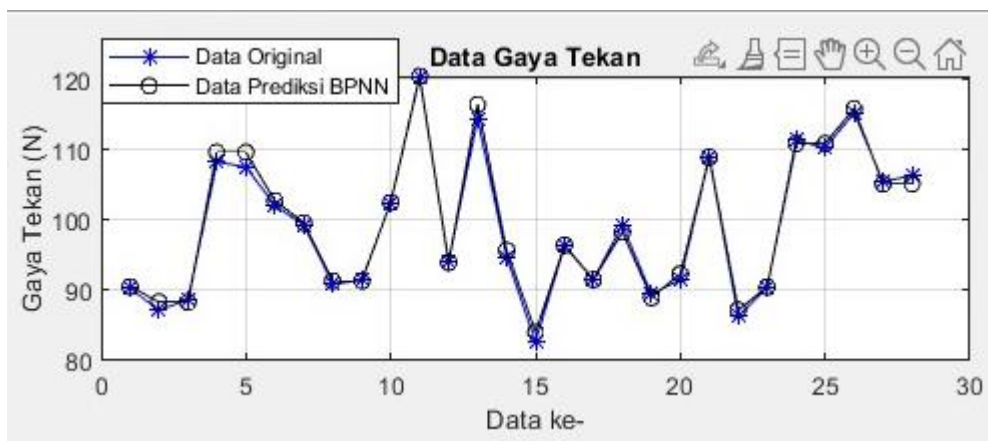
Rumus untuk mencari error adalah:
$$\frac{[\text{Nilai target} - \text{Nilai prediksi bpnn}]}{\text{Nilai target}} \quad (4.3)$$

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Target vs Nilai Hasil Prediksi *BPNN* Gaya Tekan

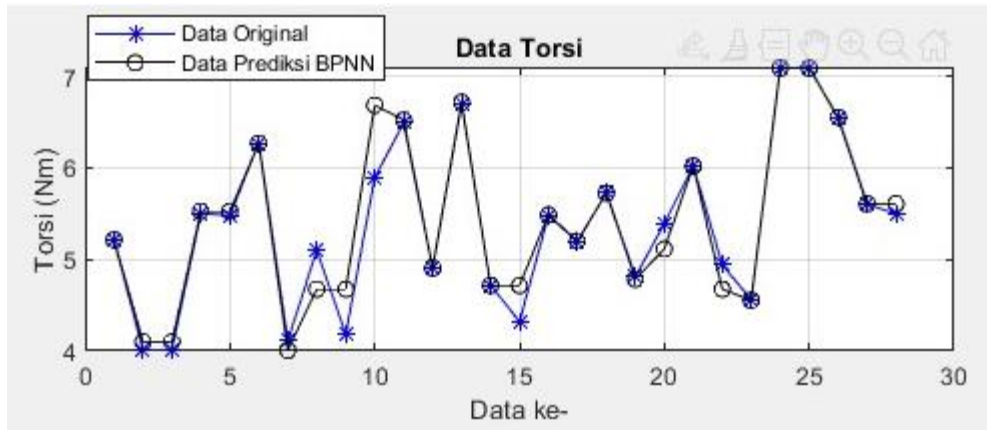
Input				Output Gaya Tekan (N)		Error (%)
Spindle speed	Feeding	Point Angle	Work Sample	Target	Prediksi BPNN	
500	0,1	60	2	90,3	90,20	0,11%
500	0,1	120	1	87,2	87,36	0,18%
500	0,1	120	1	88,7	88,64	0,07%
500	0,1	150	3	108,3	109,23	0,86%
500	0,1	150	3	107,6	109,23	1,51%
500	0,2	60	3	102,1	102,58	0,47%
500	0,3	150	2	99,3	100,03	0,74%
500	0,4	60	1	90,9	91,01	0,12%
500	0,4	60	1	91,5	91,51	0,01%
500	0,4	60	2	102,5	102,47	0,03%
500	0,4	150	3	120,4	120,41	0,01%
1000	0,1	120	2	94,1	93,84	0,27%
1000	0,4	90	3	114,5	115,09	0,52%
1000	0,4	150	1	94,8	95,16	0,38%
1500	0,1	60	1	82,7	82,81	0,13%
1500	0,3	60	2	96,3	96,34	0,04%
2000	0,1	60	2	91,6	91,54	0,06%
2000	0,1	90	3	99,3	99,06	0,25%
2000	0,1	150	1	89,5	89,33	0,19%
2000	0,2	120	2	91,5	91,68	0,19%
2000	0,2	150	3	109	109,06	0,06%
2000	0,3	90	1	86,3	87,43	1,30%
2000	0,3	150	1	90,4	89,48	1,01%
2000	0,4	60	3	111,4	110,86	0,49%
2000	0,4	60	3	110,3	110,66	0,32%
2000	0,4	120	3	115,3	116,97	1,45%
2000	0,4	150	2	105,5	105,93	0,41%
2000	0,4	150	2	106,4	104,79	1,51%

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Target vs Nilai Hasil Prediksi *BPNN* Torsi

Input				Output Torsi (Nm)		Error (%)
Spindle speed	Feeding	Point Angle	Work Sample	Target	Prediksi BPNN	
500	0,1	60	2	5,21	5,2	0,19%
500	0,1	120	1	4,01	4,02	0,25%
500	0,1	120	1	4,02	4,02	0,00%
500	0,1	150	3	5,5	5,52	0,36%
500	0,1	150	3	5,48	5,6	2,19%
500	0,2	60	3	6,27	6,28	0,16%
500	0,3	150	2	4,11	4,04	1,70%
500	0,4	60	1	5,1	4,83	5,29%
500	0,4	60	1	4,18	4,83	15,55%
500	0,4	60	2	5,89	6,65	12,90%
500	0,4	150	3	6,49	6,48	0,15%
1000	0,1	120	2	4,9	4,91	0,20%
1000	0,4	90	3	6,7	6,71	0,15%
1000	0,4	150	1	4,72	4,73	0,21%
1500	0,1	60	1	4,32	4,71	9,03%
1500	0,3	60	2	5,48	5,49	0,18%
2000	0,1	60	2	5,19	5,2	0,19%
2000	0,1	90	3	5,73	5,73	0,00%
2000	0,1	150	1	4,81	4,79	0,42%
2000	0,2	120	2	5,39	5,2	3,53%
2000	0,2	150	3	6,02	6,02	0,00%
2000	0,3	90	1	4,94	4,79	3,04%
2000	0,3	150	1	4,56	4,57	0,22%
2000	0,4	60	3	7,08	7,08	0,00%
2000	0,4	60	3	7,1	7,09	0,14%
2000	0,4	120	3	6,54	6,56	0,31%
2000	0,4	150	2	5,6	5,61	0,18%
2000	0,4	150	2	5,5	5,59	1,64%



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai Target dengan Nilai Hasil Prediksi Gaya Tekan

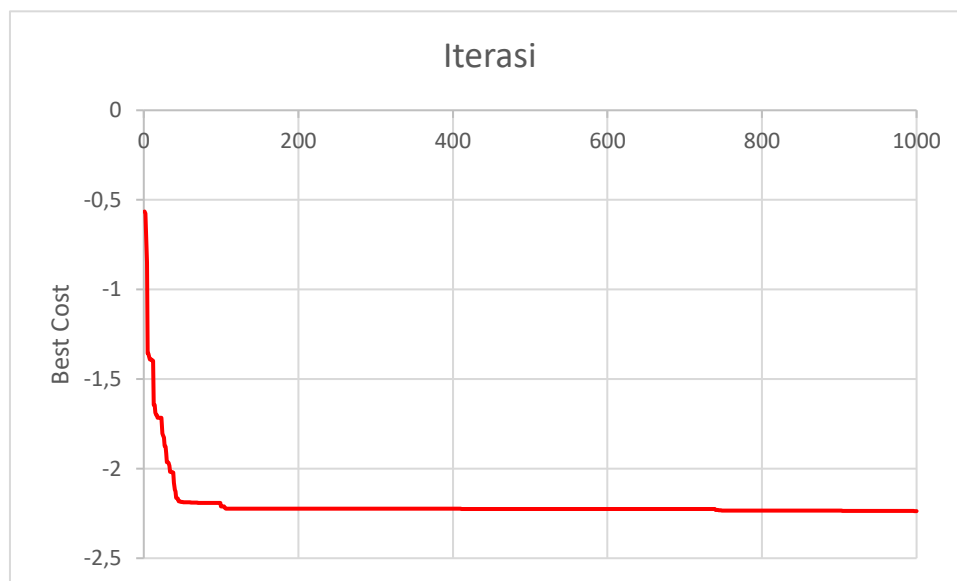


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Target dengan Nilai Hasil Prediksi Torsi

Gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan grafik perbandingan nilai target dan hasil prediksi *BPNN* dari gaya tekan dan torsi, sedangkan tabel 4.3 dan tabel 4.4 memperlihatkan hasil target dibandingkan hasil prediksi *BPNN* untuk gaya tekan dan torsi. Nilai *MSE* untuk gaya tekan adalah 0,00045 dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa hasil prediksi *BPNN* mampu memprediksi dengan sangat baik dari nilai target. Nilai *MSE* untuk torsi adalah 0,0065 dapat dilihat pada gambar 4.3 bahwa hasil prediksi *BPNN* mampu memprediksi dengan cukup baik dari nilai target.

4.4 Optimasi Multi-Objective Menggunakan Metode GA dan SA

Setelah selesai pemodelan *BPNN* langkah selanjutnya adalah mencari nilai minimum dari masing-masing respon menggunakan metode GA dan SA. Hipotesis awal SA akan memiliki hasil yang lebih optimal (minimal) dibandingkan dengan GA, namun membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai nilai minimum.

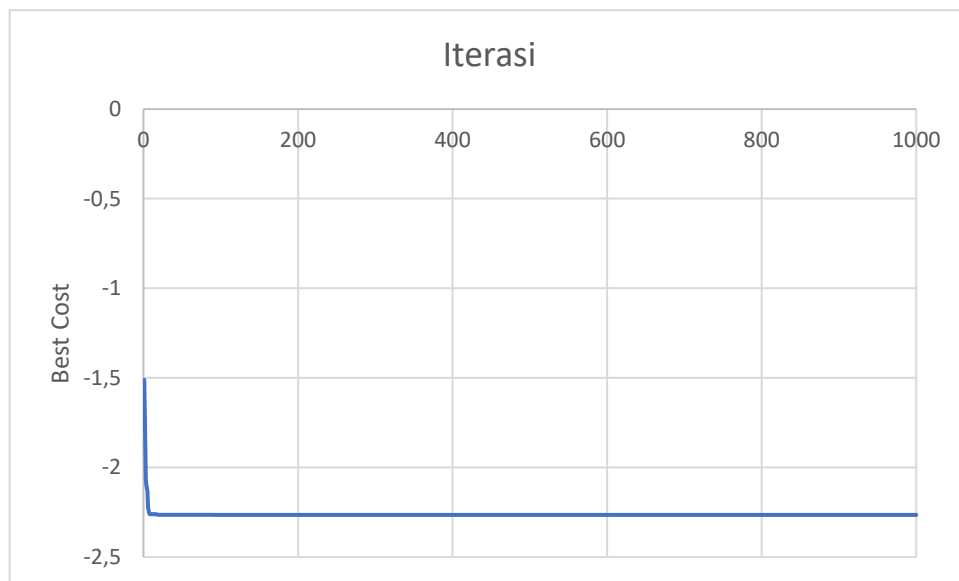


Gambar 4.4 Bestcost vs iterasi Genetic Algorithm (GA)

Gambar 4.4 menunjukkan hasil GA dalam menentukan nilai minimum dari gaya tekan dan torsi dalam 1000 iterasi, dimana nilai *bestcost* minimum adalah -2,27068042800868. Karena nilai gaya tekan dan torsi adalah 0,5 x nilai *bestcost* minimum, maka nilai gaya tekan dan torsi sebelum denormalisasi adalah -1.135340214004. Level variabel proses drilling, gaya tekan, dan torsi diperoleh dengan menggunakan GA sebelum dan sesudah denormalisasi dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil optimasi menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA)

Variabel input	Satuan	Sebelum Denormalisasi	Setelah Denormalisasi
<i>Spindle speed</i>	rpm	-1	500
<i>Feeding</i>	mm/rev	0,170366180404966	0,2690
<i>Point angle of tool</i>	derajat	-0,687732488589101	72,2794
<i>Work Sample</i>	-	-1	1
Variabel output	Satuan	Sebelum Denormalisasi	Setelah Denormalisasi
<i>Thrust force (Fz)</i>	N	-1,2746 2964 9752007	77,5232
<i>Torque (Mz)</i>	Nm	-0,996050458256677	4,0161



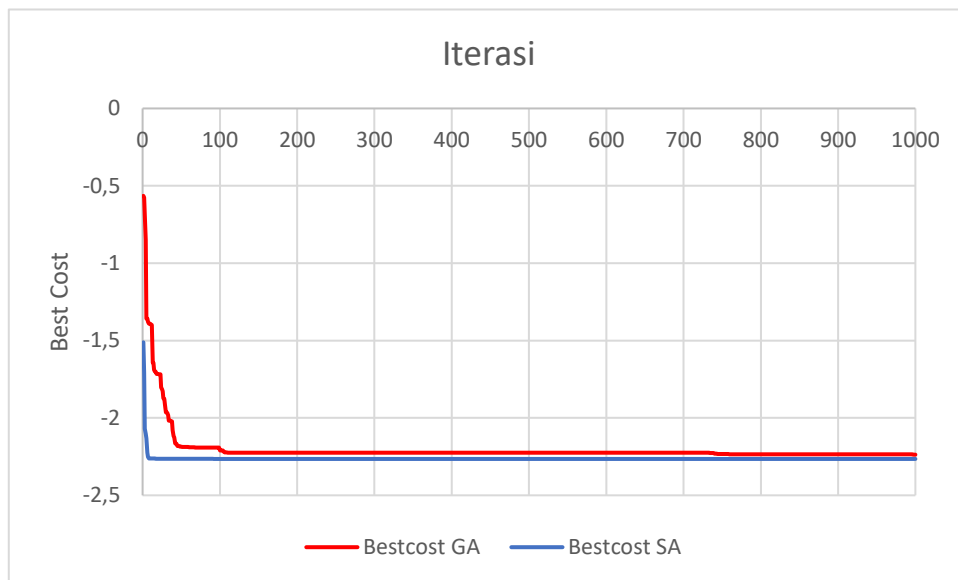
Gambar 4.5 *Bestcost* vs iterasi *Simulated Annealing* (SA)

Gambar 4.5 menunjukkan hasil SA dalam menentukan nilai minimum dari gaya tekan dan torsi dalam 1000 iterasi, dimana nilai *bestcost* minimum adalah -2,27111661073984. Karena nilai gaya tekan dan torsi adalah 0,5 x nilai *bestcost* minimum, maka nilai gaya tekan dan torsi sebelum denormalisasi adalah -1.13555830537. Level variabel proses drilling, gaya tekan, dan torsi diperoleh dengan menggunakan SA sebelum dan sesudah denormalisasi dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil optimasi menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA)

Variabel input	Satuan	Sebelum Denormalisasi	Setelah Denormalisasi
<i>Spindle speed</i>	rpm	-1	500
<i>Feeding</i>	mm/rev	0,178448182881491	0,2768
<i>Point angle of tool</i>	derajat	-0,680888588168108	74,3600
<i>Work Sample</i>	-	-1	1
Variabel ouput	Satuan	Sebelum Denormalisasi	Setelah Denormalisasi
<i>Thrust force (Fz)</i>	N	-1,275066152483160	77, 5150
<i>Torque (Mz)</i>	Nm	-0.996050458256677	4,0161

4.5 Perbandingan Metode GA dan SA



Gambar 4.6 Perbandingan *Genetic Algorithm* (GA) vs *Simulated Annealing* (SA)

Tabel 4.8 Perbandingan waktu konvergensi GA dan SA

Percobaan	Waktu Konvergen GA (menit)	Waktu Konvergen SA (menit)
1	0,796	8,784
2	1,17	9,014
3	1,21	9,12
4	1,19	9,19
5	0,35	9,025
6	3,23	8,85
7	1,92	8,902
8	0,3825	8,97
9	0,285	9,24
10	2,6125	8,79
Rata-rata	1,3146	8,9885

Dari gambar 4.6 diatas terlihat bahwa optimasi dengan metode *simulated annealing* lebih cepat konvergen dan iterasi pertama sudah memiliki bestcost yang rendah di -1,5113 sedangkan optimasi dengan metode *genetic algorithm* lebih lama untuk mencapai konvergen dengan iterasi pertama dimulasi dari -0,56479 dapat dilihat bahwa pada iterasi 740 nilai *bestcost genetic algorithm* masih bisa berubah untuk semakin konvergen, sedangkan dengan *simulated annealing* pada generasi 20 sudah mulai terlihat konvergen, kekurangan dari *simulated annealing* adalah waktu perhitungan dan mencari solusi dari tiap iterasi sangat lama, namun kelebihanannya adalah mampu mendapatkan hasil yang bagus bahkan di iterasi yang sangat kecil, sedangkan kekurangan *genetic algorithm* adalah kurang bisa mendapatkan nilai minimum dan dibutuhkan jumlah generasi yang banyak, kelebihanannya adalah waktu komputasi *genetic algorithm* cepat dan mampu mendapatkan nilai yang mendekati dari nilai optimal dari *simulated annealing*. Seperti yang terlihat di tabel 4.8 rata-rata waktu konvergensi untuk GA adalah 1,3 menit sedangkan rata-rata waktu konvergensi untuk SA adalah 8,9 menit.

4.6 Pendekatan Hasil Prediksi ke Hasil Sebenarnya

Tabel 4.9 Pendekatan hasil prediksi ke *tool* yang tersedia di pasaran (60°)

		Sebelum dilakukan <i>constraint handling</i> ke 60° (GA)	Setelah dilakukan <i>constraint handling</i> ke 60° (GA)	Sebelum dilakukan <i>constraint handling</i> ke 60° (SA)	Setelah dilakukan <i>constraint handling</i> ke 60° (SA)
Variabel input	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Spindle speed</i>	rpm	500	500	500	500
<i>Feeding</i>	mm/rev	0,2690	0,27	0,2768	0,26
<i>Point angle of tool</i>	derajat	72,2794	60	74,36	60
<i>Work Sample</i>	-	1	1	1	1
Variabel output	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Thrust force (Fz)</i>	N	77,5232	77,2892	77, 5150	77,3982
<i>Torque (Mz)</i>	Nm	4,0161	4,2534	4,0161	4,1985

Tabel 4.9 menunjukkan hasil prediksi *tool* yang tersedia di pasaran (*point angle* 60°). Dikarenakan parameter input yang digunakan untuk mendapat output yang minimal dari prediksi tidak semua bersifat kontinyu, maka parameter input yang tidak kontinyu harus didekatkan dengan kondisi sebenarnya atau kondisi lapangan. Dari hasil optimasi dengan metode GA sebelumnya parameter input yang tidak kontinyu dan mendapatkan nilai diantara nilai sebenarnya adalah *point angle of tool* dengan nilai $72,2794^\circ$ dimana spesifikasi ini tidak ada dipasaran maka harus didekatkan ke *point angle* terdekat ke 60° dan setelah dilakukan *constraint handling* ke *point angle* 60° nilai output untuk gaya tekan pada prediksi menjadi 77,2892 N dan untuk torsi pada prediksi menjadi 4,2534 Nm. Sedangkan hasil optimasi dengan metode SA sebelumnya parameter input yang tidak kontinyu dan mendapatkan nilai diantara nilai sebenarnya adalah *point angle of tool* dengan nilai $74,36^\circ$ dimana spesifikasi ini tidak ada dipasaran maka harus didekatkan ke *point angle* terdekat ke 60° dan setelah dilakukan *constraint handling* ke *point angle* 60° nilai output untuk gaya tekan pada prediksi menjadi 77,3982 N sedangkan untuk torsi pada prediksi menjadi 4,1985 Nm.

Tabel 4.10 Pendekatan hasil prediksi ke *tool* yang tersedia di pasaran (90°)

		Sebelum dilakukan constraint handling ke 90° (GA)	Setelah dilakukan constraint handling ke 90° (GA)	Sebelum dilakukan constraint handling ke 90° (SA)	Setelah dilakukan constraint handling ke 90° (SA)
Variabel input	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Spindle speed</i>	rpm	500	500	500	500
<i>Feeding</i>	mm/rev	0,2690	0,27	0,2768	0,27
<i>Point angle of tool</i>	derajat	72,2794	90	74,36	90
<i>Work Sample</i>	-	1	1	1	1
Variabel output	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Thrust force (Fz)</i>	N	77,5232	78,0703	77, 5150	78,0703
<i>Torque (Mz)</i>	Nm	4,0161	4,2769	4,0161	4,2769

Tabel 4.10 menunjukkan hasil prediksi *tool* yang tersedia di pasaran (*point angle* 90°). Dilakukan juga *constraint handling* ke *point angle* 90° . Dikarenakan parameter input yang digunakan untuk mendapat output yang minimal dari prediksi tidak semua bersifat kontinyu, maka parameter input yang tidak kontinyu harus didekatkan dengan kondisi sebenarnya atau kondisi lapangan. Dari hasil optimasi dengan metode GA sebelumnya parameter input yang tidak kontinyu dan mendapatkan nilai diantara nilai sebenarnya adalah *point angle of tool* dengan nilai $72,2794^\circ$ dimana spesifikasi ini tidak ada dipasaran maka harus didekatkan ke *point angle* terdekat ke 90° dan setelah dilakukan *constraint handling* ke *point angle* 90° nilai output untuk gaya tekan pada prediksi menjadi 78,0703 N dan untuk torsi pada prediksi menjadi 4,2769 Nm. Sedangkan hasil optimasi dengan metode SA sebelumnya parameter input yang tidak kontinyu dan mendapatkan nilai diantara nilai sebenarnya adalah *point angle of tool* dengan nilai $74,36^\circ$ dimana spesifikasi ini tidak ada dipasaran maka harus didekatkan ke *point angle* terdekat ke 90° dan setelah dilakukan *constraint handling* ke *point angle* 90° nilai output untuk gaya tekan pada prediksi menjadi 78,0703 N dan untuk torsi pada prediksi menjadi 4,2769 Nm. Disini nilai gaya tekan dan torsi untuk GA dan SA menjadi sama karena nilai *feeding* dibulatkan ke 2 angka dibelakang koma. Dikarenakan hasil optimasi dari *point angle* 60° mendapatkan hasil lebih minimum dari 90° maka variabel input yang digunakan adalah *spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,27 mm/rev, *point angle* 60° dan *work sample* 1.

4.7 Perbandingan Hasil Penelitian Sebelumnya dengan Optimasi Saat Ini

Tabel 4.11 Perbandingan hasil optimasi penelitian sebelumnya dan penelitian saat ini

		Penelitian sebelumnya Design Expert 7	Penelitian saat ini (GA)	Penelitian saat ini (SA)
Variabel input	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Spindle speed</i>	rpm	2000	500	500
<i>Feeding</i>	mm/rev	0,1	0,27	0,26
<i>Point angle of tool</i>	derajat	60	60	60
<i>Work Sample</i>	-	1	1	1
Variabel ouput	Satuan	Nilai	Nilai	Nilai
<i>Thrust force (Fz)</i>	N	82,47	77,2892	77,3982
<i>Torque (Mz)</i>	Nm	4,4	4,2534	4,1985

Dari tabel 4.11 diatas terlihat bahwa optimasi dengan metode GA dan SA mendapatkan hasil (*output*) yang lebih minimal daripada penelitian yang dilakukan sebelumnya secara prediksi (belum dilakukan *confirmatory run*). Pada optimasi penelitian sebelumnya parameter input yang digunakan adalah *spindle speed* 2000 rpm, *feeding* 0,1 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample* I, sedangkan pada penelitian kali ini menggunakan metode GA didapatkan parameter input yang optimal adalah *spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,27 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample* I. Untuk SA didapatkan parameter input yang optimal adalah *spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,26 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample* I. Nilai *thrust force* dan *torque* yang didapatkan dari penelitian sebelumnya adalah 82,47 N dan 4,4 Nm sedangkan nilai *thrust force* dan *torque* yang didapatkan dari penelitian saat ini menggunakan metode GA dengan bestcost bernilai -2,26052042800236 adalah 77,2892 N dan 4,2534 Nm, sedangkan nilai *thrust force* dan *torque* untuk SA dengan bestcost bernilai -2,26083367073365 adalah 77,3982 N dan 4,1985 Nm. Terlihat bahwa dengan penambahan nilai *spindle speed* nilai *thrust force* turun, sedangkan nilai *torque* naik, ketika nilai *feeding* naik, nilai *thrust force* sedikit turun, ini berbeda dari teoritis hal ini mungkin disebabkan dari data yang tidak *full factorial* dan ada kesalahan pengukuran, sedangkan nilai *torque* naik ketika nilai *feeding* naik, hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa ketika nilai *feeding* naik akan menyebabkan nilai *torque* naik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari penelitian kali ini dengan judul “Optimasi Gaya Tekan dan Torsi Untuk Proses Drilling Dengan Material *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter *Back Propagation Neural Network* yang terbaik untuk memperoleh tingkat kesalahan prediksi respon gaya tekan yang paling kecil adalah BPNN dengan jumlah *hidden layer* 3, jumlah *neuron* 5 2 5, dan fungsi aktivasi tansig, tansig, tansig dengan MSE 0,00045.
2. Parameter *Back Propagation Neural Network* yang terbaik untuk memperoleh tingkat kesalahan prediksi respon torsi yang paling kecil adalah BPNN dengan *hidden layer* 3, jumlah *neuron* 3 7 4, dan fungsi aktivasi satlin, tansig, satlin dengan MSE 0,0065.
3. Parameter *input* yang ketika dipilih menghasilkan gaya tekan dan torsi paling minimum pada proses *drilling Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites* menggunakan metode BPNN-GA adalah *spindle speed* sebesar 500 rpm, *feeding* 0,27 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan menggunakan *work sample I*.
4. Parameter *input* yang ketika dipilih menghasilkan gaya tekan dan torsi paling minimum pada proses *drilling Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites* menggunakan metode BPNN-SA adalah *spindle speed* sebesar 500 rpm, *feeding* 0,26 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan menggunakan *work sample I*.
5. Hasil optimasi dari penelitian sebelumnya menggunakan Design Expert 7 dengan *input spindle speed* 2000 rpm, *feeding* 0,1 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample I* mendapatkan output gaya tekan 82,47 N dan torsi 4,4 Nm, untuk optimasi menggunakan metode GA *input spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,27 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample I* mendapatkan output gaya tekan 77,2892 N dan torsi 4,2534 Nm, sedangkan untuk optimasi menggunakan metode SA *input spindle speed* 500 rpm, *feeding* 0,26 mm/rev, *point angle of tool* 60° dan *work sample* yang digunakan adalah *work sample I* mendapatkan output gaya tekan 77,3982 N dan torsi 4,1985 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian saat ini mendapatkan hasil *output* yang lebih minimal dibanding penelitian sebelumnya, dengan batasan belum dilakukannya konfirmasi eksperimen.
6. Metode optimasi *Genetic Algorithm* memiliki akurasi yang lebih rendah dari *Simulated Annealing*, namun *Simulated Annealing* membutuhkan waktu 8,9 menit untuk konvergen sedangkan *Genetic Algorithm* hanya memerlukan waktu 1,3 menit.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode optimasi gaya tekan dan torsi dalam penelitian ini menggunakan *Back Propagation Neural Network–Genetic Algorithm (BPNN-GA)* dan *Back Propagation Neural Network–Simulated Annealing (BPNN-SA)*. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan studi untuk melakukan optimasi dengan menggunakan metode-metode optimasi yang lain sebagai pembandingan.
2. Untuk penelitian dengan permasalahan yang berbeda dapat digunakan arsitektur BPNN yang berbeda juga, karena arsitektur yang cocok untuk masing-masing permasalahan berbeda.

3. Untuk penelitian selanjutnya optimasi menggunakan *BPNN* sebaiknya menggunakan jumlah data yang cukup banyak, agar prediksi yang dihasilkan oleh jaringan *BPNN* cukup akurat. Dikarenakan memperbanyak menggunakan data eksperimen membutuhkan biaya yang cukup mahal, metode elemen hingga (*Ansys*) dapat digunakan untuk memperbanyak data, data yang telah didapatkan digunakan untuk memperbaiki jaringan *BPNN*.
4. Untuk penelitian selanjutnya mengenai optimasi menggunakan metode *GA* dan *SA*, dapat digunakan nilai parameter yang berbeda, karena parameter yang cocok untuk metode *GA* dan *SA* juga bisa berbeda untuk tiap-tiap permasalahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Yekti Ambar Wulan. 2015. Hybrid Algoritma Genetika dan Simulated Annealing untuk Penentuan Tata Letak Mesin multi-row
- Vinayagamoorthy, R. and R. N. and K. B. (2014). Optimization Studies on Thrust Force and Torque during Drilling of Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites. *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*, 8.
- B. O. P. Soepangkat, B. Pramujati, M. K. Effendi, R. Norcahyo, and A. M. Mufarrih. 2019. Multi-objective Optimization in Drilling Kevlar Fiber Reinforced Polymer Using Grey Fuzzy Analysis and Backpropagation Neural Network–Genetic Algorithm (BPNN–GA) Approaches, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 20, no. 4, Apr. 2019, doi: 10.1007/s12541-019-00017-z.
- S. R. Karnik, V. N. Gaitonde, S. Basavarajappa, and J. P. Davim. 2013. Multi-Response Optimization in Drilling of Glass Epoxy Polymer Composites Using Simulated Annealing Approach, *Mater. Sci. Forum*, vol. 766, Jul. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.766.123.
- Dwi Rahdiyanta. 2010. PROSES GURDI (DRILLING)
- NOVI DWIJAYANTI. 2017. *MULTI-RESPONSE OPTIMIZATION OF THE THRUST FORCE, TORQUE, TOOL WEAR AND SURFACE ROUGHNESS OF THE DRILLING PROCESS OF EMS-45 STEEL USING TAGUCHI-GRA METHOD.*
- F. A. Tragedi. 2010. Pengaruh Cairan Pendingin Bertekanan Tinggi terhadap Keausan Tepi Pahat, Kekasaran Permukaan dan Gaya Tekan pada Proses Gurdi material Baja AISI 4340, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- T. Rochim. 1993. Proses Permesinan, Institut Teknologi Bandung, Bandung. Smart, E. F., & Trent, E. M., vol. 3,
- R. R. K. A. D. K. A.D.Dongare. 2012. Introduction to Artificial Neural Network, *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 1, Jul.
- S. Abdulqader and O. Al-Allaf. 2011. *Backpropagation Neural Network Algorithm for Forecasting Soil Temperatures Considering Many Aspects: A Comparison of Different Approaches.*
- A. S. dan E. A. S. Nazla Nurmila. 2007. ALGORITMA BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK UNTUK PENGENALAN POLA KARAKTER HURUF JAWA
- A. Naveen Sait, S. Aravindan, and A. Noorul Haq. 2008. Optimisation of machining parameters of glass-fibre-reinforced plastic (GFRP) pipes by desirability function analysis using Taguchi technique. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 43, no. 5, p. 581, doi: 10.1007/s00170-008-1731-y.
- B. Santosa, “Pengantar Metaheuristik Implementasi dengan Matlab,” 2017.
- Johan Oscar Ong, Jusak Sali Kosasih Ferdian Cahyadi. 2011. PERANCANGAN ALGORITMA SIMULATED ANNEALING UNTUK RUTE KENDARAAN YANG MEMPERTIMBANGKAN BACKHAULRUTE MAJEMUK, DAN TIME WINDOW
- Alsubari, S., Zuhri, M. Y. M., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., Ilyas, R. A., & Asyraf, M. R. M. (2021). Potential of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites in Sandwich Structures: A Review on Its Mechanical Properties. *Polymers*, 13(3), 423. <https://doi.org/10.3390/polym13030423>
- Alfikri Hidayat, Hartono Yudo, & Parlindungan Manik. (2016). *ANALISA TEKNIS KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS DENGAN CORE SERBUK GERGAJI KAYU SENGON LAUT DITINJAU DARI KEKUATAN TEKUK DAN IMPAK.* 4.

Agus Dwi Catur, & Paryanto D.S. (n.d.). 2014. *Sifat Mekanik Komposit Sandwich Berpenguat Serat Bambu Fiberglass dengan Core Polyurethane Rigid Foam.*

LAMPIRAN

Lampiran 1 (Spesifikasi Mesin)



Jenis CNC *vertical machining center*-Agni, dibuat oleh Bharat Fritz Werner, sistem dikontrol menggunakan Siemens 802D, memiliki maksimum *spindle speed* 6000 rpm.

Lampiran 2 (Spesifikasi Pahat)

HSS M42 10mm



Lampiran 3 (Spesifikasi Material) *Natural Fiber Reinforced Sandwich Composites*

Work sample dengan ketebalan 12 mm, dipotong berbentuk 100 mm balok

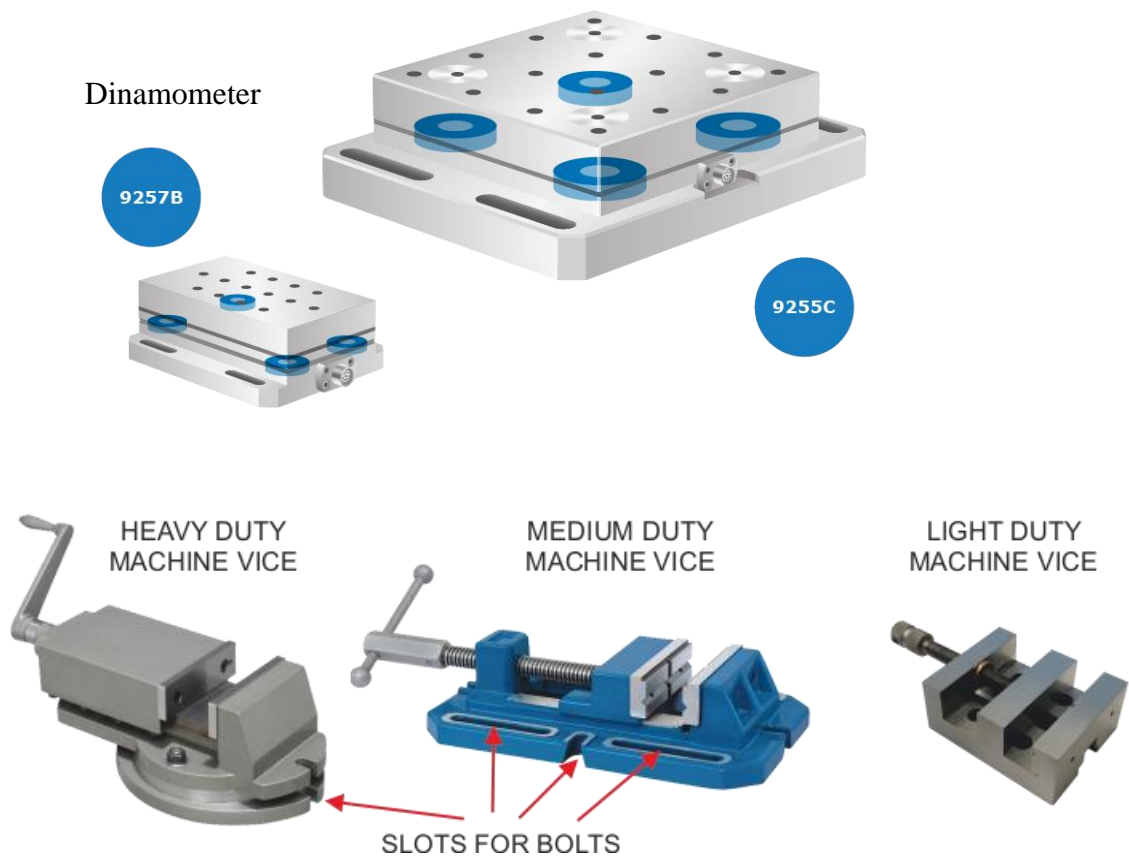
Table 1. Composition of samples

Sample	Fiber Proportions (wt %)			Resin proportions (wt %)
	Vetiver	Jute	Glass	Vinyl ester
I	17	17	-	66
II	13	13	8	66
III	10	10	14	66

Table 2. Mechanical properties of samples

Sample	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Tensile strain at break (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)	Flexural strain at break (%)	Compressive strength (MPa)	Impact energy (J)
I	71.73	1736	9.5	133.11	2894	7	122.21	11
II	74.14	2105	7.5	131.9	3358	6.67	121.81	15.33
III	70.96	2318	7.5	137.6	2950	7	128.23	18.33

Lampiran 4 (Spesifikasi Dinamometer)



Dinamometer kistler dengan model 9257B digunakan untuk mengukur gaya tekan and torsi selama proses *drilling*. Dengan setup pengukuran range -5 KN hingga 10 KN. Dinamometer diletakkan diatas meja mesin dan *work sample* diatasnya lalu dikunci menggunakan *machine vice*.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung, 30 Juli 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Dharma Wanita Ngrendeng, SD Negeri 1 Ngrendeng, SMP Negeri 1 Kauman dan SMA Negeri 1 Boyolangu. Penulis diterima di Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS pada tahun 2018 melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP. 02111840000008. Di Departemen Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Manufaktur.

Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan di Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK-ITS) menjadi staff sie acara pada tahun 2019, menjadi wakoor sie acara pada tahun 2020 dan menjadi koordinator divisi persekutuan pada tahun 2021. Penulis juga mengikuti kegiatan di UCITS (UKM Catur ITS) dan menjadi sekretaris departemen PSDA (Pengembangan Sumber Daya Anggota) pada tahun 2020, aktif mengikuti perlombaan catur di luar kampus dan menjadi panitia perlombaan didalam kampus. Selain itu, penulis juga beberapa kali mengikuti program internasional yang difasilitasi oleh ITS *Global Engagement* yaitu *Study Excursion Singapore*. Apabila pembaca ingin menghubungi penulis dapat melalui *email*: benedictushke@gmail.com atau melalui telepon: 082232706438.