

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	4
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Yang Dapat Diharapkan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Faktor yang mempengaruhi kualitas Pemotongan dengan <i>laser</i>	7
2.2. Percobaan Pemotongan Bahan dengan <i>laser</i>	8
BAB III LANDASAN TEORI	18
3.1. Komposit	18
3.1.1 Klasifikasi Komposit	19



3.1.2. Matrik Polimer	25
3.1.3. Serat Alam	28
3.2. Metode manufaktur komposit berpenguat serat	30
3.2.1. Proses Cetakan Terbuka (Open-Mold Process)	31
3.2.2. Proses Cetak Tertutup	32
3.2.3. Proses Cetakan Panas	35
3.2.4. Proses <i>continuous</i>	36
3.3. Alat Potong Komposit	38
3.4. <i>CNC Laser Cutting</i>	40
3.4.1. Sistem <i>Laser</i>	42
3.4.2. Komponen <i>Laser Cutting</i>	45
3.5. Metode Taguchi	49
3.6 Metode ANOVA	51
BAB IV METODE PENELITIAN	56
4.1 Tempat	56
4.2 Peralatan	56
4.2.1 Alat Pemotong	56
4.2.2 Alat dan bahan Pembuatan Komposit	57
4.2.3 Alat Ukur	57
4.3 Diagram Alir Penelitian	58
4.3.1 Pembuatan Komposit dengan metode Vacuum Bag	59
4.3.3 Pemotongan Komposit	61
4.3.4 Pengukuran Dimensi <i>Kraf</i>	63
4.3.5 Analisis dan pembahasan	63



BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	66
5.1. Pembuatan Komposit Dengan metode <i>Vacuum Bag</i>	69
5.2. Eksperimen pemotongan komposit	69
5.3. Hasil Pengukuran Luas Penampang <i>Kerf</i> dan Kedalaman <i>Kerf</i> dan rasio L/D	71
5.4. Analisis data hasil pengukuran dimensi <i>kerf</i> dan HAZ dengan taguchi	72
5.5. Analisis data <i>Ratio</i> menggunakan ANOVA	78
5.5.1. Uji Identik	79
5.5.2. Uji Independen	79
5.5.3. Uji residual berdistribusi normal	79
5.6. Parameter Terbaik untuk menghasilkan potongan yang optimal	82
BAB VI PENUTUP	84
6.1. Simpulan	84
6.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Variabel proses pemotongan material dengan <i>laser</i>	8
Gambar 2. 2 Pengaruh kecepatan potong dan daya terhadap <i>Depth of cut</i> pada Pemotongan <i>PMMA</i>	9
Gambar 2. 3 Pengaruh kecepatan potong dan daya terhadap <i>Depth of cut</i> pada Pemotongan <i>Pinewood, particle board</i> dan karet	9
Gambar 2. 4 Metode Pengukuran <i>HAZ</i>	10
Gambar 2. 6 Pengukuran <i>HAZ</i> dan Pengukuran diameter hasil pemotongan lingkaran 30 mm pada bahan termoplastik <i>PMMA, PC, dan PP</i> ketebalan 3mm	12
Gambar 2. 7 Posisi <i>Focal plane</i>	13
Gambar 2. 9 Setup <i>Ytterbium doped fiber laser</i>	14
Gambar 2. 10 Setup pengukuran temperatur pemotongan	16
Gambar 3. 1 Klasifikasi Komposit berdasarkan Penguatnya	19
Gambar 3. 2 Tipe Serat	21
Gambar 3. 3 Tipe <i>Discontinuous fiber</i>	21
Gambar 3. 4 Struktur <i>Honeycomb</i>	25
Gambar 3. 5 Pohon gebang ( <i>Corypha gebanga</i> )	29
Gambar 3. 6 Metode <i>sprey</i>	32
Gambar 3. 7 Metode <i>Vacuum Bagging</i>	33
Gambar 3. 8 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	34
Gambar 3. 9 Metode <i>RTM</i>	34
Gambar 3. 10 Metode <i>Moulding Compound</i>	35
Gambar 3. 11 Metode <i>Sheet Moulding Compound</i>	36
Gambar 3. 12 Metode <i>Pultrusion</i>	36

Gambar 3. 13 Contoh Hasil Produk Pultrusion	37
Gambar 3. 14 Metode <i>Filament Winding</i>	37
Gambar 3. 15 Pemotongan komposit dengan Gergaji	38
Gambar 3. 16 <i>Dremel Cutting wheel</i>	38
Gambar 3. 18 <i>Angle Grinder</i>	39
Gambar 3. 19 <i>Jigsaw</i>	39
Gambar 3. 20 <i>CNC Router</i>	40
Gambar 3. 21 Komponen <i>Laser</i>	43
Gambar 3. 22 Absorpsi dan Emisi terstimulasi	44
Gambar 3. 23 Proses terbentuknya sinar <i>laser</i>	44
Gambar 3. 24 <i>Laser Tube</i>	45
Gambar 3. 25 <i>Power supply</i> untuk <i>laser CO2</i>	46
Gambar 3. 26 <i>Water Chiller CW-3000</i>	46
Gambar 3. 27 <i>Water Chiller circuit</i>	47
Gambar 3. 28 <i>Reflective Mirror</i>	48
Gambar 3. 29 Posisi <i>Reflective Mirror</i> dalam mesin <i>laser cutting</i>	48
Gambar 3. 30 <i>Laser head</i> dan <i>focal lens</i>	49
Gambar 4. 1 <i>Laser Cutting</i>	56
Gambar 4. 2 Diagram Alir Penelitian	58
Gambar 4. 3 Pemasangan Sealant Tape	59
Gambar 4. 4 Ukur Unsaturated Poliester menggunakan gelas ukur	59
Gambar 4. 5 Pelapisan dengan release film dan Breather.	60
Gambar 4. 6 Proses Vacuum Bagging	60

Gambar 4. 7 Pengamatan dimensi <i>kerf</i> dan <i>HAZ</i>	63
Gambar 4. 8 Plot <i>residual versus fitted values</i>	64
Gambar 4. 9 Plot <i>ACF</i>	64
Gambar 4. 10 Uji Kenormalan	65
Gambar 5. 1 Jumlah Lapisan Serat	66
Gambar 5. 2 Susunan potongan serat 4, 6 dan 8 lapis.	67
Gambar 5. 3 Manometer	67
Gambar 5. 4 Penampang komposit 4 lapis arah woven 45°	68
Gambar 5. 5 Penampang komposit serat daun agel 8 lapis arah woven 0°	68
Gambar 5. 6 Urutan pemotongan percobaan no 1, 4 dan 7 dengan jumlah lapisan dan arah woven sama.	69
Gambar 5. 7 Setting GAP antara nozzle dan benda kerja	69
Gambar 5. 8 Display panel parameter Daya dan kecepatan potong	70
Gambar 5. 9 Spesimen pemotongan komposit serat daun agel <i>Unsaturated Poliester</i> dengan <i>laser cutting</i>	70
Gambar 5. 10 Citra hasil Potongan diperbesar 100x	71
Gambar 5. 11 Hasil rata-rata S/N ratio menggunakan karakter lebih kecil lebih baik pada parameter daya, CS, GAP, jumlah lapisan dan sudut potong	78
Gambar 5. 12 Plot <i>residual versus fitted values</i>	79
Gambar 5. 13 Plot <i>Autocorrelation fuction Residual</i>	79
Gambar 5. 14 P-Value Plot residual	80
Gambar 5. 15 Distribusi F	81
Gambar 5. 16 Main Effects Plot for Means	82



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Investigasi Machinability Komposit Serat Daun Agel Unsaturated Polyester dengan Mesin Laser Cutting**

AUTHA RACHMAN, Gesang Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Universitas Gadjah Mada, 2017 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 5. 17 Contur plot GAP terhadap CS

83

Gambar 5. 18 Countur Plot Daya VS Kecepatan Potong

83

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perbandingan serat alami dan serat buatan	2
Tabel 1. 2 Kekuatan tarik Serat Agel dengan perlakuan perendaman Alkali tanah	3
Tabel 2. 1 DOE pemotongan pine wood dengan laser cutting	13
Tabel 2. 2 kombinasi parameter optimal pada pemotongan pine wood arah paralel dan perdicular	14
Tabel 2. 3 Parameter dan level eksperimen pemotongan SUS 316L dengan laser cutting	15
Tabel 2. 4 Matriks ortogonal L9 (34)	15
Tabel 2. 5 Hasil optical micrograp lubang yang telah dibor	17
Tabel 2. 6 Hasil optical micrograph setelah dioptimaliasi dengan GA	17
Tabel 3. 1 Perbandingan Termoset dan Termoplastik	26
Tabel 3. 2 Sifat Mekanis Resin Thermoset	27
Tabel 3. 3 Sifat mekanis Termoplastik	27
Tabel 3. 4 Suhu Maksimum Penggunaan Polimer	28
Tabel 3. 5 Proses Manufaktur Komposit berpenguat serat(Gibson 1994)	30
Tabel 3. 6 Metode Hand Lay up (Yuhazri & Sihombing 2010)	31
Tabel 3. 7 Aplikasi laser pada manufaktur (Kalpakjian, 2003)	41
Tabel 3. 8 Standar Ortogonal Array	50
Tabel 4. 1 Level parameter	61
Tabel 4. 2 Jumlah DoF	61
Tabel 4. 3 Ortogonal Array L 27	62
Tabel 5. 1 Hasil Pengukuran Luas Penampang Kerf, Kedalaman Kerf dan rasio L/D	71
Tabel 5. 2 Tabel hasil perhitungan S/N ratio dalam hasil pengukuran dimensi kerf hasil pemotongan komposit serat daun agel unsaturated poliester	74





UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Investigasi Machinability Komposit Serat Daun Agel Unsaturated Polyester dengan Mesin Laser Cutting**

AUTHA RACHMAN, Gesang Nugroho, S.T.,M.T., Ph.D.

Universitas Gadjah Mada, 2017 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Tabel 5. 3 hasil perhitungan S/N ratio dalam hasil pengukuran dimensi kerf hasil pemotongan komposit serat daun agel unsaturated poliester	76
Tabel 5. 4 Tabel rata-rata S/N ratio menggunakan karakter lebih kecil lebih	78
Tabel 5. 5 ANOVA SN Ratio	80

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Taguchi	90
Lampiran 2. General Linier Model S/N Ratio	91
Lampiran 3. Residual Plot S/N Ratio dan Auti Correlation Fuction Residual	93
Lampiran 4. Main Effect Plot S/N Ratio dan Main Effect plot Rata-rata	94
Lampiran 5. Tabel Distribusi F	95
Lampiran 6. Foto Macro Luasan Kerf komposit ALF-UP 4 Lapis	96
Lampiran 7. Foto Macro Luasan Kerf Komposit ALF-UP 6 Lapis	97
Lampiran 8. Foto Macro Luasan Kerf Komposit ALF-UP 8 Lapis	98

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$a$	= Nomor percobaan
ACF	= <i>Auto Correlation Function</i>
AF	= <i>Algodon Fibers</i>
AG	= <i>Assist Gas</i>
ALF-UP	= <i>Agel Leaf Fiber Unsaturated Polyester</i>
AM	= <i>Addition Materials</i>
ANOVA	= <i>Analysis of Variance</i>
AFP	= <i>Automated Fiber Placement</i>
BMC	= <i>Bulk Moulding Compound</i>
BMI	= <i>Bismaleimide</i>
°C	= Derajat Celcius
CNC	= <i>Computer Numerical Control</i>
CO <sub>2</sub>	= Carbon dioksida
CS	= <i>Cuttng Speed</i>
CW	= <i>Continous Wave</i>
CW CO <sub>2</sub>	= <i>Continous Wave Carbon dioksida</i>
d	= Diameter spot laser
$\Delta$	= Delta (Selisih nilai rasio S/N terbesar dan rasio S/N terkecil)
d <sub>f</sub>	= Degree of Freedom
DOC	= <i>Depth of Cut</i>
DOE	= <i>Design of Experiment</i>
EDM	= <i>Electro Discharge Machining</i>
<i>F Value</i>	= Nilai signifikansi

FL	= <i>Focal Length</i>
g/cm <sup>3</sup>	= Gram per centimeter kubik
GF	= <i>Glass Fibers</i>
GRA	= <i>Grey Relational Analysis</i>
GPa	= Giga Pascal
HAZ	= Heat Affected Zone
i	= Nomor experiment
KMK	= Komposit Matrik Keramik
KML	= Komposit Matrik Logam
KMP	= Komposit Matrik Polimer
L9	= <i>Ortogonal Array 9</i>
L27	= <i>Ortogonal Array 27</i>
Rasio L/D	= Rasio Luasan penampang <i>kerf</i> terhadap Kedalaman <i>Kerf</i>
LASER	= <i>Light Amplification by stimulated of radiation</i>
LCM	= <i>Liquid Composite Molding</i>
kW	= kilo Watt
MDF	= <i>Medium Density Fibreboard</i>
Mm	= Milimeter
mm/s	= <i>Milimeter per second</i>
m/min	= Meter per menit
MEPOXE	= <i>Methyl ethyl ketone peroxide</i>
MPa	= Mega Pascal
MRR	= <i>Material Removal Rate (mm<sup>3</sup>/menit)</i>
MS	= <i>Mean Squares</i>
N <sub>i</sub>	= Banyak percobaan dari experiment <i>i</i>

N <sub>2</sub>	= Nitrogen
NaOH	= Natrium Hidroksida
Nd: YAG	= Neodymium; Yttrium-Aluminum-Garnet
P	= Persen Kontribusi Faktor
P	= Power atau daya
P4	= <i>Programmable Powdered Preform Process</i>
PC	= <i>Polycarbonate</i>
PCO <sub>2</sub>	= Pulsed Carbon dioksida
PE	= <i>Polyethylene</i>
PEEK	= <i>Polyether ether ketone</i>
PMMA	= <i>polymethylmethacrylate</i>
PVC	= <i>Polyvinyl chloride</i>
PP	= <i>Polypropylene</i>
PPS	= <i>Polyphenylene sulphide</i>
PRB	= <i>Phenolic resin boards</i>
Ra	= <i>Surface Roughness</i>
RI	= <i>Resin Infusion</i>
RRIM	= <i>Reinforced Reaction Injection Molding</i>
RTM	= <i>Resin Transfer Molding</i>
SS	= <i>Sum of squares</i>
SMC	= <i>Sheet molding Compound</i>
S/N Ratio	= <i>Rasio Signal to Noise</i>
$s_i^2$	= Standar deviasi
t	= Kedalaman Pemotongan
UHMWPE	= <i>ultra high performance poluethylene</i>



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Investigasi Machinability Komposit Serat Daun Agel Unsaturated Polyester dengan Mesin Laser Cutting**

AUTHA RACHMAN, Gesang Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Universitas Gadjah Mada, 2017 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

UV	= <i>Ultra violet</i>
v	= Kecamatan potong
V <sub>OA</sub>	= Jumlah Eksperimen -1
V <sub>T</sub>	= Jumlah Total <i>Degree of Freedom</i>
W	= Watt
$y_i$	= Nilai rata-rata