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/

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 *laser* 7

2.2. Percobaan Pemotongan Bahan dengan *laser* 8

BAB III LANDASAN TEORI 18

3.1. Komposit 18

3.1.1 Klasifikasi Komposit 19

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/

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 *continuous* 36

3.3. Alat Potong Composit 38

3.4. *CNC Laser Cutting* 40

3.4.1. Sistem *Laser* 42

3.4.2. Komponen *Laser Cutting* 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 *Kraf* 63

4.3.5 Analisis dan pembahasan 63

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/

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 66

5.1. Pembuatan Komposit Dengan metode *Vacuum Bag* 69

5.2. Eksperimen pemotongan komposit 69

5.3. Hasil Pengukuran Luas Penampang *Kerf* dan Kedalaman *Kerf* dan rasio L/D 71

5.4. Analisis data hasil pengukuran dimensi *kerf* dan HAZ dengan taguchi 72

5.5. Analisis data *Ratio* 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

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/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Variabel proses pemotongan material dengan *laser* 8

Gambar 2. 2 Pengaruh kecepatan potong dan daya terhadap *Depth of cut* pada Pemotongan *PMMA* 9

Gambar 2. 3 Pengaruh kecepatan potong dan daya terhadap *Depth of cut* pada Pemotongan *Pinewood*, *particle board* dan karet 9

Gambar 2. 4 Metode Pengukuran *HAZ* 10

Gambar 2. 6 Pengukuran *HAZ* dan Pengukuran diameter hasil pemotongan lingkaran 30 mm pada bahan thermoplastik PMMA, PC, dan PP ketebalan 3mm 12

Gambar 2. 7 Posisis *Focal plane* 13

Gambar 2. 9 Setup *Ytterbium doped fiber laser* 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 *Discontinous fiber* 21

Gambar 3. 4 Struktur *Honeycomb* 25

Gambar 3. 5 Pohon gebang (Corypha gebanga) 29

Gambar 3. 6 Metode *sprey* 32

Gambar 3. 7 Metode *Vacuum Bagging* 33

Gambar 3. 8 Metode *Vacuum Infusion* 34

Gambar 3. 9 Metode RTM 34

Gambar 3. 10 Metode *Moulding Compound* 35

Gambar 3. 11 Metode *Sheet Moulding Compound* 36

Gambar 3. 12 Metode *Pultrusion* 36

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 3. 13 Contoh Hasil Produk Pultrusion 37

Gambar 3. 14 Metode *Filament Winding* 37

Gambar 3. 15 Pemotongan komposit dengan Gergaji 38

Gambar 3. 16 *Dremel Cutting wheel* 38

Gambar 3. 18 *Angle Grinder* 39

Gambar 3. 19 *Jigsaw* 39

Gambar 3. 20 *CNC Router* 40

Gambar 3. 21 Komponen *Laser* 43

Gambar 3. 22 Absorpsi dan Emisi terstimulasi 44

Gambar 3. 23 Proses terbentuknya sinar *laser* 44

Gambar 3. 24 *Laser Tube* 45

Gambar 3. 25 *Power supply* untuk *laser* CO2 46

Gambar 3. 26 *Water Chiller* CW-3000 46

Gambar 3. 27 *Water Chiller circuit* 47

Gambar 3. 28 *Reflective Mirror* 48

Gambar 3. 29 Posisi *Reflective Mirror* dalam mesin *laser cutting* 48

Gambar 3. 30 *Laser head* dan *focal lens* 49

Gambar 4. 1 *Laser Cutting* 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

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 4. 7 Pengamatan dimensi *kerf* dan *HAZ* 63

Gambar 4. 8 Plot *residual versus fitted values* 64

Gambar 4. 9 Plot *ACF* 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^{o} 68

Gambar 5. 5 Penampang komposit serat daun agel 8 lapis arah woven 0^{o} 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 *Unsaturated Poliester* dengan *laser cutting* 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 *residual versus fitted values* 79

Gambar 5. 13 Plot *Autocorrelation fuction Residual* 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. 17Contur plot GAP terhadap CS 83

Gambar 5. 18 Countur Plot Daya VS Kecepatan Potong 83

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/

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 pemotonganpine wood arah paralel dan perdicular 14

Tabel 2. 3 Parameter dan level experimen 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

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/

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

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/

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a = Nomor percobaan

ACF = *Auto Correlation Function*

AF = *Algodon Fibers*

AG = *Assist Gas*

ALF-UP = *Agel Leaf Fiber Unsaturated Polyester*

AM = *Addition Materials*

ANOVA = *Analysis of Variance*

AFP = *Automated Fiber Placement*

BMC = *Bulk Moulding Compound*

BMI = *Bismaleimide*

^{o}C = Derajat Celcius

CNC = *Computer Numerical Control*

CO_2 = Carbon dioksida

CS = *Cuttng Speed*

CW = *Continous Wave*

CW CO_2 = *Continous Wave* Carbon dioksida

d = Diameter spot laser

Δ = Delta (Selisih nilai rasio S/N terbesar dan rasio S/N terkecil)

d_f = Degree of Freedom

DOC = *Depth of Cut*

DOE = *Design of Experiment*

EDM = *Electro Discharge Machining*

F Value = Nilai signifikansi

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/

FL = *Focal Length*

g/cm^3 = Gram per centimeter kubik

GF = *Glass Fibers*

GRA = *Grey Relational Analysis*

GPa = Giga Pascal

HAZ = Heat Affected Zone

i = Nomor experiment

KMK = Komposit Matrik Keramik

KML = Komposit Matrik Logam

KMP = Komposit Matrik Polimer

L9 = *Ortogonal Array* 9

L27 = *Ortogonal Array* 27

Rasio L/D = Rasio Luasan penampang *kerf* terhadap Kedalaman *Kerf*

LASER = *Light Amplification by stimulated of radiation*

LCM = *Liquid Composite Molding*

kW = kilo Watt

MDF = *Medium Density Fibreboard*

Mm = Milimeter

mm/s = *Milimeter per second*

m/min = Meter per menit

MEPOXE = *Methyl ethyl ketone peroxide*

MPa = Mega Pascal

MRR = *Material Removal Rate (mm^3/menit)*

MS = *Mean Squares*

N_i = Banyak percobaan dari experiment *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/

N_2 = Nitrogen

NaOH = Natrium Hidroksida

Nd: YAG = Neodymium; Yttrium-Aluminum-Garnet

P = Persen Kontribusi Faktor

P = Power atau daya

P4 = *Programmable Powdered Preform Process*

PC = *Polycarbonate*

PCO_2 = Pulsed Carbon dioksida

PE = *Polyethylene*

PEEK = *Polyether ether ketone*

PMMA = *polymethylmethacrylate*

PVC = *Polyvinyl chloride*

PP = *Polypropylene*

PPS = *Polyphenylene sulphide*

PRB = *Phenolic resin boards*

Ra = *Surface Roughness*

RI = *Resin Infusion*

RRIM = *Reinforced Reaction Injection Molding*

RTM = *Resin Transfer Molding*

SS = *Sum of squares*

SMC = *Sheet molding Compound*

S/N Ratio = Rasio *Signal to Noise*

s_i^2 = Standar deviasi

t = Kedalaman Pemotongan

UHMWPE = *ultra high performance poluethylene*

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 = *Ultra violet*

v = Kecematan potong

V_{OA} = Jumlah Eksperimen -1

V_T = Jumlah Total *Degree of Freedom*

W = Watt

y_i = Nilai rata-rata