UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga**
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Halaman Judul, i

Halaman Pengesahan, ii

Kata Pengantar, iii

Intisari, v

Naskah Soal Tugas Akhir, vi

Daftar Isi, vii

Daftar Gambar, xi

Daftar Tabel, xv

Daftar Notasi, xvi

BAB I PENDAHULUAN,1

1.1. Latar Belakang Masalah, 1

1.2. Pemodelan, 2

1.2.1 Karakteristik Dari Pemodelan, 4

1.3. Batasan Masalah, 5

1.4. Metode Penelitian, 6

1.5. Sistematika Penulisan, 7

BAB II

PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK KOMPUTER, 9

2.2. Elemen - elemen Untuk Pemodelan Metode Elemen Hingga, 10

2.2.1. Elemen Segitiga Dua Dimensi, 12

2.2.2. Elemen Segiempat Dua Dimensi,14

2.2.3. Elemen Bilinear Dua Dimensi, 14

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.4.1. Elemen Quadrilateral Linear, 16

2.2.4.2. Elemen Lagrangian, 16

2.2.4.3. Elemen Quadratis Dengan Delapan Titik Nodal,17

2.3. Sifat Bahan Komposit Dalam Pemodelan,18

2.4. Pengenalan Perangkat Lunak, 19

2.4.1. Perangkat Lunak FEMAP, 19

2.4.2 Perangkat Lunak MSC/NASTRAN, 21

2.5. Uji Validitas Perangkat Lunak FEMAP Dan MSC/NASTRAN, 23

2.5.1 Penyelesaian Soal Dengan Pendekatan Analitis, 24

2.5.2. Penyelesaian Soal dengan Pendekatan Numeris, 25

2.6. Perbandingan Hasil Pendekatan Analitis dengan Pendekatan Numeris, 36

BAB III

TEGANGAN TERMAL RESIDUAL PADA BAHAN KOMPOSIT , 38

3.1. Pengertian Bahan Komposit , 38

3.2. Macam-macam Jenis Komposit, 39

3.3. Komposit Serat Laminate, 40

3.3.1. Sifat Bahan Orthotropis,41

3.4.Pengertian Tegangan Termal Residual,42

3.5. Pertumbuhan Tegangan Termal Residual,43

3.6. Pengaruh Dari Tegangan Termal Residual,44

3.7. Pemodelan Tegangan Termal Residual Pada Struktur Komposit , 46

BAB IV

PEMODELAN TEGANGAN TERMAL RESIDUAL DENGAN PENDEKATAN ANALITIS, 48

4.1. Pendahuluan, 48

Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Patchurrohman ; Prof. Ir. Jamasri, Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2. Persamaan Umum Perbedaan Kelembaban Hygrothermal , 46

4.3. Regangan Dan Tegangan Termal, 54

4.4. Perhitungan Tegangan Termal Residual, 57

4.5. Pendekatan Analitis Untuk Penyelesaian Soal, 58

BAB V

PEMODELAN DAN PENELITIAN TEGANGAN TERMAL RESIDUAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA , 65

5.1. Pemodelan Tegangan Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga, 65

5.1.1. Perancangan Model Dengan FEMAP, 65

5.2. Perbandingan Hasil Pendekatan Analitis dengan Pendekatan Numeris, 71

5.3. Metode Penelitian, 72

BAB VI

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN, 76

6.1. Hasil Peneltian Model 1, 76

6.1.1. Pengaruh Sifat Mekanis Terhadap Tegangan Termal Residual, 76

6.1.2. Pengaruh Sifat Termal Terhadap Tegangan Termal Residual, 79

6.1.3. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Pertumbuhan Tegangan Termal Residual, 82

6.1.4. Pengaruh Sudut Orientasi Serat Terhadap Tegangan Termal Residual, 84

6.2. Penelitian Model 2, 86

6.2.1. Pengaruh Susunan Laminat Terhadap Derajat Spring Forward, 86

6.2.2 Pengaruh Variasi Perbandingan Radius Komponen Dengan Ketebalan Laminat Terhadap Derajat Spring Forward, 87

6.3. Pembahasan Model 1, 88

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman ; Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Termal Residual, 89

6.3.2. Pengaruh Variasi Koefisien Ekpansi Termal ($\alpha_1$dan α_2) Terhadap Tegangan Termal Residual, 92

6.3.3. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Termal Residual, 94

6.3.4. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Serat Terhadap Tegangan Termal Residual, 95

6.4. Pembahasan Model 2, 97

6.4.1. Pengaruh Pola Penyusunan Laminat Terhadap Derajat Spring Forward, 97

6.4.2. Pengaruh Perbandingan Antara Radius Komponen (R/h) Dengan Ketebalan Laminat Terhadap Derajat Spring Forward, 99

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN, 10

7.1. Kesimpulan, 101

7.2. Saran, 102

Daftar Pustaka, 103

Lampiran

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

1-1. Bagan Alur Proses Pemodelan, 3

1-2. Bagan Alur Metode Penelitian, 6

2-1. Struktur Yang Tersusun Atas Elemen – Elemen Hingga, 11

2-2. Beberapa Jenis Elemen, 11

2-3. Beberapa Jenis Elemen, 12

2-4. Elemen Segitiga Dalam Koordinat Lokal, 13

2-5. Elemen Bilinear Segiempat, 14

2-6. Elemen Quadrilateral Linear Dalam Koordinat Natural, 16

2-7. Elemen Lagrangian Quadrilateral, 17

2-8. Elemen Quadratis Dengan Delapan Titik Nodal, 18

2-9. Skema Fungsi-Fungsi Eksekusi Analisa NASTRAN, 22

2-10. Susunan Dari Laminat, 24

2-11. Sebuah Struktur Komposit Mengalami Pembebanan Arah Aksial Sebesar 100 MPa, 28

2-12. Perancangan Model Secara Lengkap Dengan FEMAP, 32

2-13. Deformasi dan Kontur Tegangan Normal Arah X pada Lamina ke-1, 33

2-14. Deformasi dan Kontur Tegangan Normal Arah Y pada Lamina ke-1, 33

2-15. Deformasi dan Kontur Tegangan Geser Arah XY pada Lamina ke-1, 34

2-16. Deformasi dan Kontur Tegangan Normal Arah X pada Lamina ke-2, 34

2-17. Deformasi dan Kontur Tegangan Normal Arah Y pada Lamina ke-2, 35

2-18. Deformasi dan Kontur Tegangan Geser Arah XY pada Lamina ke-2, 35

2-19. Koordinal Global Laminat Dan Lokal Laminat, 36

3-1. Macam-Macam Jenis Komposit, 40

3-2. Penyusunan Komposit Laminat, 41

3-3. Proses Siklus *Curing*, 43

3-4. Retak Yang Disebabkan Oleh Tegangan Termal Residual Pada Laminat Karbon-Epoxy Saat Manufaktur, 45

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3-5. Tegangan Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga, 45
3-6. Fenomena *Spring Forward*, 46
4-1. Dekomposisi Regangan Total Menjadi Regangan Akibat Suhu, Air Dan Regangan Mekanis, 49
4-2. Pertumbuhan Tegangan Residual Setelah Fabrikasi, 51
5-1. Rancangan Model, 67
5-2. Tegangan Normal Arah X Pada Lamina Pertama, 68
5-3. Tegangan Normal Arah Y Pada Lamina Pertama, 69
5-4. Tegangan Geser Arah XY Pada Lamina Pertama, 69
5-5. Tegangan Normal Arah X Pada Lamina Kedua, 70
5-6. Tegangan Normal Arah Y Pada Lamina Kedua, 70
5-7. Tegangan Geser Arah XY Pada Lamina Kedua, 71
5-8. Rancangan Model Untuk Penelitian, 75
6-1a. Grafik Pengaruh E11 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 77
6-1b. Grafik Pengaruh E22 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 77
6-2a. Grafik Pengaruh E11 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 78
6-2b. Grafik Pengaruh E11 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 79
6-3a. Grafik Pengaruh α_1 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 80
6-3b. Grafik Pengaruh α_2 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 80
6-4a. Grafik Pengaruh α_1 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 81
6-4b. Grafik Pengaruh α_2 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 82

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6-5a. Grafik Pengaruh Perubahan Terhadap Pertumbuhan Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 83

6-5b. Grafik Pengaruh Perubahan Terhadap Pertumbuhan Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 83

6-6a. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 85

6-6b. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 85

6-6c. Grafik Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Terhadap Tegangan Termal Residual Geser Arah XY, 86

6-7. Grafik Pengaruh Variasi Pola Susunan Laminat Terhadap Derajat *Spring Forward*, 87

6-8. Grafik Pengaruh Variasi Perbadingan Antara Radius Komponen Dengan Ketebalan Laminat Terhadap Derajat *Spring Forward*, 88

6-9. Arah Bekerjanya Tegangan Termal Residual Normal Arah X Pada Lamina 1 ($\theta = 0°$), 89

6-10. Pengaruh Sifat – Sifat Serat Dan Matriks Pada Lamina 1 ($\theta = 0°$), 90

6-11. Arah Bekerjanya Tegangan Termal Residual Normal Arah Y Pada Lamina 1 ($\theta = 0°$), 91

6-12 . Distirbusi Tegangan Termal Residual Pada Sturktur Komposit, 91

6-13. Total Deformasi Pada α_1 = 8,6 E-6/°C α_2 = 22,1E-6/°C (Sifat Asli Bahan), 92

6-14. Total Deformasi Pada α_1 = 10 E-6/°C α_2 = 22,1E-6/°C, 93

6-15. Total Deformasi Pada α_1 = 8,6 E-6/°C α_2 = 24,5 E-6/°C, 94

6-16. Fungsi Regangan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Lamina 1 Komposit AS/3501-5A Dengan Susunan Quasi-isotropis, 94

6-17. Sudut Orientasi Laminat Relatif Teradap Arah Penyusutan Matriks, 95

6-18. Kurva Tegangan Geser Interlaminar Sebagai Fungsi Sudut Orientasi Serat Pada Carbon/Epoxy Laminat, 96

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6-19. [illegible], 97
6-20. Pengaruh Perbandingan Antara Radius Dengan Ketebalan Terhadap Spring-In (Spring Forward), E-glass/ epoxy komposit [90/0/90/0]s, 99
6-21. Distribusi Spring Forward pada R/h = 12, 100

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga**
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4-1. Koefisien Ekspansi Termal Komposit Searah Graphite/Epoxy, 51

6-1a dan 6-1b. Pengaruh Sifat Mekanis E_{11} Dan E_{22} Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 76

6-2a dan 6-2b. Pengaruh Sifat Mekanis E_{11} Dan E_{22} Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 78

6-3a. dan 6.3b.Pengaruh Sifat Termal α_1Dan α_2 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah X, 79

6-4a. dan 6-4b.Pengaruh Sifat Termal α_1Dan α_2 Terhadap Tegangan Termal Residual Normal Arah Y, 81

6-5a dan 6-5b. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap PertumbuhanTegangan Termal Residual , 82

6-6. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Serat Terhadap Tegangan Termal Residual , 84

6-7. Pengaruh Variasi Pola Susunan Laminat Terhadap Derajat *Spring Forward*, 86

6-8. Pengaruh Variasi Perbadingan Antara Radius Komponen Dengan Ketebalan Laminat Terhadap Derajat *Spring Forward*, 87

6-9. Perhitugan Derajat *Spring Forward* Dengan CLT, 98

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

a = koefisien polinomial

Aij = komponen matriks kekakuan panjang

Bij = komponen matriks kekakuan kopling

c = konsentrasi kandungan air

Cij = komponen matriks kekakuan

Dij = komponen matriks kekakuan lengkung

e = komponen regangan

E = Modulus Young

G = modulus geser

k = kelengkunan

N = fungsi bentuk, resultan gaya

M = momen resultan

Qij = komponen matriks kekakuan laminat (koordinat laminat)

Sij = komponen inverse matriks kekakuan

t = ketebalan lamina

T = suhu

u = vektor simpangan nodal

v = vektor simpangan

V = volume, fraksi volum

Z = koordinat ketebalan lamina

notasi Latin

α = koefisien ekpansi termal

β = koefisien ekpansi akibat kandungan air

ε = regangan normal

γ = regangan geser

η = koordinat lokal elemen

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Sifat-sifat Mekanis dan Termal Komposit Laminate Terhadap Tegangan
Termal Residual Dengan Metode Elemen Hingga
Nanang Fatchurrohman , Prof. Ir. Jamasri, Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 1999 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

σ = tegangan
τ = tegangan geser
υ = Poisson ratio
ξ = koordinat lokal elemen
Δ = deformasi

notasi subscript

x = komponen normal sumbu x
y = komponen normal sumbu y
xy = komponen miring sumbu x dan y
i = x,y,z atau 1,2,6
11 = komponen longitudinal
22 = komponen transversal
12 = komponen geser, komponen kombinasi 11 dan 22
21 = komponen kombinasi 22 dan 11
j = x,y,z atau 1,2,6
s = komponen geser
k =1,2,n
f =serat
m =matriks
R = residual

notasi superscript

T = suhu
H = air
0 = keadaan awal, awal
M,m=mekanis
R =komponen tegangan residual