

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “ANALISIS PERILAKU DEFORMASI PADA MATERIAL BERPERILAKU *AUXETIC* DENGAN METODE *DIGITAL IMAGE CORRELATION* DAN *INFRARED THERMOGRAPHY*” dengan baik dan tepat pada waktunya.

Laporan skripsi ini disusun berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di *Saarland University*, Jerman pada tahun 2020. Skripsi merupakan persyaratan terakhir bagi mahasiswa yang wajib ditempuh sesuai dengan kurikulum Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan. Skripsi ini juga bermanfaat bagi penulis untuk menerapkan pengetahuan yang telah didapat dan memperoleh pengalaman baru yang tidak diperoleh dari perkuliahan.

Penulis menyadari tanpa bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, proses penulisan laporan skripsi ini tidak dapat diselesaikan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menyertai, menuntun, dan mendukung penulis, khususnya pada masa perkuliahan dari awal hingga penulisan skripsi ini selesai.
2. Bapak Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.
3. Ibu Dr. Nuri Arum Anugrahati, selaku Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.
4. Bapak Laurence, M.T., selaku Direktur Administrasi dan Kemahasiswaan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan.

5. Bapak Sadvent Martondang Purba, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
6. Bapak Dr.-Ing. Jack Widjajakusuma, selaku pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis selama proses pembuatan laporan skripsi ini dari awal hingga akhir.
7. Seluruh dosen dan asisten dosen pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan atas ilmu dan wawasan yang telah diberikan selama masa perkuliahan dari awal hingga akhir.
8. Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels, Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann, dan Tobias Heib, M.Sc. dari *Saarland University*, Jerman yang memberikan data penelitian untuk diolah oleh penulis dalam pembuatan laporan skripsi.
9. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan doa, dukungan dan semangat bagi penulis dalam pembuatan laporan skripsi.
10. Antonius, Arie, Azzy, Calvin, Darren, Erik, Febi, Felix, Gabby, Geraldo, Hadryan, Hans, Intan, Juan, Kristya, Metta, Michael, Vanessa, Vincencius, Vivian, dan teman-teman Teknik Sipil UPH lainnya selaku sahabat dari awal perkuliahan yang selalu memberi dukungan bagi penulis.
11. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka akan kritik dan saran dari pembaca yang dapat membantu membuat laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Tangerang, 10 September 2021

(Ryan Hadi)

DAFTAR ISI

halaman

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | |
| PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR | |
| PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI | |
| PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI | |
| ABSTRAK | vi |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah | 4 |
| 1.5. Metodologi Penulisan | 4 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 5 |
| | |
| BAB II LANDASAN TEORI | |
| 2.1. Pendahuluan..... | 7 |
| 2.2. <i>Poisson's Ratio</i> (ν)..... | 7 |
| 2.3. Deformasi Elastis-Plastis | 8 |
| 2.4. Perilaku <i>Auxetic</i> | 11 |
| 2.4.1. <i>Reentrant Structures</i> | 12 |
| 2.4.2. <i>Rigid and Semi-rigid Rotation Model</i> | 13 |
| 2.4.3. <i>Chiral Structures</i> | 14 |
| 2.5. Sifat Khusus pada Material Berperilaku <i>Auxetic</i> | 16 |
| 2.5.1. Perilaku terhadap Lekukan | 16 |
| 2.5.2. Perilaku terhadap Geser | 17 |
| 2.5.3. Peningkatan dalam Penyerapan Energi..... | 18 |
| 2.5.4. Perilaku <i>Synclastic</i> | 18 |
| 2.6. Metode <i>Digital Image Correlation</i> (DIC)..... | 19 |
| 2.7. Metode <i>Infrared Thermography</i> (IRT) | 20 |
| | |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1. Pendahuluan..... | 24 |
| 3.2. Spesifikasi Material yang Diuji | 25 |
| 3.3. Hasil Pengujian Material..... | 26 |
| 3.3.1. Hasil Pengujian dengan <i>Digital Image Correlation</i> | 26 |
| 3.3.2. Hasil Pengujian dengan <i>Infrared Thermography</i> | 27 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Pengolahan Data Pengujian dengan Program MATLAB | 28 |
| 3.4.1. Pengolahan Data <i>Digital Image Correlation</i> dengan Ncorr | 29 |
| 3.4.2. Pengolahan Data <i>Infrared Thermography</i> dengan MATLAB... | 36 |

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1. Pendahuluan | 38 |
| 4.2. Perhitungan pada Pelat Berperilaku <i>Auxetic</i> | 38 |
| 4.2.1. Hasil Pengujian Tarik dengan <i>Universal Testing Machine</i> ... | 38 |
| 4.2.2. Perhitungan Regangan Global (<i>Global Strain</i>)..... | 39 |
| 4.2.3. Perhitungan Nilai <i>Poisson's Ratio</i> Pelat <i>Auxetic</i> | 40 |
| 4.2.4. Perbandingan Nilai <i>Poisson's Ratio</i> | 41 |
| 4.3. Pengolahan Data DIC dan IRT dengan Program MATLAB | 43 |
| 4.3.1. Pengolahan Data Regangan dengan <i>Digital Image Correlation</i> | 44 |
| 4.3.2. Parameter yang Dipakai dalam Analisis <i>Digital Image Correlation</i> | 44 |
| 4.3.3. Analisis Data Regangan Normal Arah Sumbu x (ϵ_{xx}) | 45 |
| 4.3.4. Analisis Data Regangan Normal Terhadap Sumbu y (ϵ_{yy}) | 50 |
| 4.3.5. Analisis Data Regangan Geser (ϵ_{xy}) | 55 |
| 4.3.6. Pengolahan Data Temperatur dengan <i>Infrared Thermography</i> | 59 |
| 4.3.7. Analisis Data Temperatur Pelat <i>Auxetic</i> | 60 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|-----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan | 65 |
| 5.2. Saran | 66 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

halaman

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Kurva Tegangan-Regangan..... | 10 |
| Gambar 2.2 | Perilaku Deformasi pada Material <i>Non-auxetic</i> dan <i>Auxetic</i> | 12 |
| Gambar 2.3 | Perilaku Deformasi pada <i>Auxetic</i> Tipe <i>Reentrant Structures</i> | 13 |
| Gambar 2.4 | Perilaku Deformasi pada <i>Auxetic</i> Tipe <i>Rigid and Semi-rigid Rotation Model</i> | 14 |
| Gambar 2.5 | <i>Auxetic</i> Tipe <i>Rigid Rotation Model</i> dengan Lubang Persegi | 14 |
| Gambar 2.6 | <i>Auxetic</i> Tipe <i>Chiral Structures</i> | 15 |
| Gambar 2.7 | Perilaku Deformasi pada <i>Auxetic</i> Tipe <i>Chiral Structures</i> | 15 |
| Gambar 2.8 | Perilaku Lekukan pada Material (a) <i>Non-auxetic</i> dan (b) <i>Auxetic</i> .17 | |
| Gambar 2.9 | Perilaku <i>Anticlastic</i> pada Material <i>Non-auxetic</i> | 18 |
| Gambar 2.10 | Perilaku <i>Synclastic</i> pada Material Berperilaku <i>Auxetic</i> | 19 |
| Gambar 2.11 | Pengaturan Pengambilan Gambar dengan <i>Digital Image Correlation</i> | 19 |
| Gambar 2.12 | Pencocokan <i>Subset</i> Sebelum dan Sesudah Deformasi | 20 |
| Gambar 2.13 | Pengaturan Pengambilan Gambar Termal dengan <i>Infrared Thermography</i> | 21 |
| Gambar 2.14 | Gambar Termal yang Didapat dari <i>Infrared Thermography</i> | 22 |
| Gambar 2.15 | Blur pada Gambar yang Dihasilkan oleh <i>Infrared Thermography</i> .23 | |
| Gambar 3.1 | Kerangka Alur Penelitian | 24 |
| Gambar 3.2 | Tampak Depan dari Pelat yang Diuji | 25 |
| Gambar 3.3 | Tampak Samping dari Pelat yang Diuji | 26 |
| Gambar 3.4 | Detail Lubang Berbentuk Persegi Panjang | 26 |
| Gambar 3.5 | Hasil Pengujian Material dengan <i>Digital Image Correlation</i> | 27 |
| Gambar 3.6 | Hasil Pengujian Material dengan <i>Infrared Thermography</i> | 28 |
| Gambar 3.7 | Tampilan dari <i>Reference Image</i> yang Telah Ditetapkan..... | 29 |
| Gambar 3.8 | Tampilan dari <i>Current Image</i> yang Telah Ditetapkan | 30 |
| Gambar 3.9 | <i>Region of Interest (ROI)</i> | 30 |
| Gambar 3.10 | Tampilan dari <i>Region of Interest (ROI)</i> yang Telah Ditetapkan.30 | |
| Gambar 3.11 | Parameter yang Digunakan dalam Analisis DIC | 31 |
| Gambar 3.12 | Tampilan dari DIC <i>Parameters</i> yang Telah Ditetapkan | 31 |
| Gambar 3.13 | Tampilan dari Penempatan <i>Seed</i> di <i>Region of Interest (ROI)</i> | 32 |
| Gambar 3.14 | Tampilan dari <i>Seed Preview</i> | 32 |
| Gambar 3.15 | Tampilan dari DIC <i>Analysis</i> yang Telah Ditetapkan | 33 |
| Gambar 3.16 | Tampilan dari <i>Format Displacements</i> | 33 |
| Gambar 3.17 | Tampilan dari <i>Displacement</i> yang Telah Ditetapkan..... | 33 |
| Gambar 3.18 | Tampilan dari Penentuan <i>Strain Parameters</i> | 34 |
| Gambar 3.19 | Tampilan dari <i>Strain</i> yang Telah Ditetapkan..... | 34 |
| Gambar 3.20 | Tampilan <i>Plot</i> Regangan ϵ_{xx} | 35 |
| Gambar 3.21 | Tampilan <i>Plot</i> Regangan ϵ_{yy} | 35 |
| Gambar 3.22 | Tampilan <i>Plot</i> Regangan ϵ_{xy} | 36 |
| Gambar 3.23 | Perintah <i>load File</i> Matriks | 36 |
| Gambar 3.24 | Perintah <i>set</i> dan <i>colormap</i> | 36 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.25 | Parameter dalam Menampilkan Gambar Data Temperatur | 37 |
| Gambar 3.26 | Hasil Pengolahan Data <i>Infrared Thermography</i> | 37 |
| Gambar 4.1 | Pengukuran Dimensi Pelat <i>Auxetic</i> Searah Gaya..... | 39 |
| Gambar 4.2 | Pengukuran Dimensi Pelat <i>Auxetic</i> Arah Tegak Lurus Gaya | 39 |
| Gambar 4.3 | Grafik Perbandingan Nilai <i>Poisson's Ratio</i> terhadap Jarak..... | 43 |
| Gambar 4.4 | Nilai dari <i>Subset Radius</i> dan <i>Subset Spacing</i> yang Dipakai | 45 |
| Gambar 4.5 | Nilai dari <i>Strain Radius</i> yang Dipakai | 45 |
| Gambar 4.6 | Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 46 |
| Gambar 4.7 | Detail Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 46 |
| Gambar 4.8 | Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 47 |
| Gambar 4.9 | Detail Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 47 |
| Gambar 4.10 | Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 48 |
| Gambar 4.11 | Detail Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 48 |
| Gambar 4.12 | Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 49 |
| Gambar 4.13 | Detail Regangan ϵ_{xx} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 49 |
| Gambar 4.14 | Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 50 |
| Gambar 4.15 | Detail Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 51 |
| Gambar 4.16 | Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 51 |
| Gambar 4.17 | Detail Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 52 |
| Gambar 4.18 | Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 52 |
| Gambar 4.19 | Detail Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 53 |
| Gambar 4.20 | Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 53 |
| Gambar 4.21 | Detail Regangan ϵ_{yy} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 54 |
| Gambar 4.22 | Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 55 |
| Gambar 4.23 | Detail Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 55 |
| Gambar 4.24 | Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 56 |
| Gambar 4.25 | Detail Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 56 |
| Gambar 4.26 | Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 57 |
| Gambar 4.27 | Detail Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 57 |
| Gambar 4.28 | Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 58 |
| Gambar 4.29 | Detail Regangan ϵ_{xy} Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 58 |
| Gambar 4.30 | Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 90 mm | 60 |
| Gambar 4.31 | Detail Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 90 mm..... | 61 |
| Gambar 4.32 | Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 93 mm | 61 |
| Gambar 4.33 | Detail Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 93 mm..... | 62 |
| Gambar 4.34 | Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 96 mm | 62 |
| Gambar 4.35 | Detail Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 96 mm..... | 63 |
| Gambar 4.36 | Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 99 mm | 63 |
| Gambar 4.37 | Detail Temperatur Pelat Ketika Panjang Pelat 99 mm..... | 64 |

DAFTAR TABEL

halaman

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabel 4.1 | Pengukuran Dimensi Pelat <i>Auxetic</i> Sebelum dan Sesudah Pengujian | .39 |
| Tabel 4.2 | Data ϵ dan Nilai <i>Poisson's Ratio</i> Pelat <i>Auxetic</i> | 40 |
| Tabel 4.3 | Pengukuran Dimensi Pelat <i>Auxetic</i> Setiap Jarak 1 mm | 42 |
| Tabel 4.4 | Data ϵ dan Nilai <i>Poisson's Ratio</i> Setiap Jarak 1 mm | 42 |



DAFTAR LAMPIRAN

halaman

Lampiran A

- Coding* Visualisasi Gambar Regangan Normal sumbu x Pelat *Auxetic*..A-1
- Coding* Visualisasi Gambar Regangan Normal sumbu y Pelat *Auxetic*..A-2
- Coding* Visualisasi Gambar Regangan Geser Pelat *Auxetic*A-3
- Coding* Visualisasi Gambar Perubahan Temperatur Pelat *Auxetic*A-4

Lampiran B

- Lembar Monitoring Bimbingan Tugas AkhirB-1

