Pengaruh Konfigurasi Conductive TPU pada Self-Sensing 3D Printed Braided Bending Actuator dengan
Sistem Teleoperasi Master-Slave
Ahmad Aziz Adyatma Salman, Ardi Wiranata S.T., M.Eng., Ph.D., IPP
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

SKRIPSI i

UNDERGRADUATE THESIS ii

HALAMAN PENGESAHAN iii

PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iv

NASKAH SOAL TUGAS AKHIR v

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI vi

HALAMAN PERSEMBAHAN vii

KATA PENGANTAR viii

DAFTAR ISI x

DAFTAR TABEL xv

DAFTAR GAMBAR xvi

DAFTAR LAMPIRAN xviii

DAFTAR NOTASI xix

DAFTAR SINGKATAN xxi

INTISARI xxiii

ABSTRACT xxiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 2

1.3. Batasan Masalah 3

1.4. Tujuan Penelitian 4

1.5. Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1. *Soft Pneumatic Actuator* 5

2.2. *Braided Bending Actuator* 7

Pengaruh Konfigurasi Conductive TPU pada Self-Sensing 3D Printed Braided Bending Actuator dengan
Sistem Teleoperasi Master-Slave
Ahmad Aziz Adyatma Salman, Ardi Wiranata S.T., M.Eng., Ph.D., IPP
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3. *3D Printed Flexible Strain Sensor* 9

2.4. *Self-Sensing Soft Pneumatic Actuation* 10

2.5. *Soft Robotic Master-Slave Teleoperation System* 11

BAB III DASAR TEORI 13

3.1. *McKibben Muscle Actuator* 13

3.2. *Flexible Strain Sensor* 14

3.2.1. Mekanisme Sensor Resistif 15

3.2.2. Pertimbangan Pemilihan Prinsip Resistif 15

3.3. 3D Printing 16

3.4. Pemilihan Material 16

3.4.1. Thermoplastic Polyurethane (TPU) 17

3.4.2. Conductive Thermoplastic Polyurethane (C-TPU) 17

3.5. Sistem Mekatronika 17

3.5.1. Rangkaian Pembagi Tegangan 18

3.5.2. *Analog-to-Digital Converter* 19

3.5.3. Rangkaian Pengemudi Aktuator Elektromagnetik 20

3.5.4. Sistem Pneumatik 20

3.6. Pengolahan Sinyal dan Kendali Sistem Tertanam 21

3.6.1. Kalibrasi dan Perhitungan Perubahan Relatif 21

3.6.2. Filter Rata-Rata Bergerak 21

3.6.3. Kendali Dua Keadaan Berbasis Ambang 22

3.6.4. Komunikasi Data dan Penandaan Peristiwa 23

3.7. Evaluasi Performa 23

3.7.1. Karakterisasi Respons *Self-Sensing* 24

3.7.2. Karakteristik Aktuasi 25

3.7.3. Kinerja Teleoperasi 26

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Pengaruh Konfigurasi Conductive TPU pada Self-Sensing 3D Printed Braided Bending Actuator dengan
Sistem Teleoperasi Master-Slave**
Ahmad Aziz Adyatma Salman, Ardi Wiranata S.T., M.Eng., Ph.D., IPP
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IV METODE PENELITIAN **27**

4.1. Diagram Alir Penelitian **27**

4.2. Alat Penelitian **28**

4.2.1. *3D Printer* FDM Sovol SV04 28

4.2.2. Izumi *Oil-Less Air Compressor* 30

4.2.3. Kamera dan Perlengkapan Perekaman 31

4.2.4. Komputer dan Perangkat Lunak 31

4.3. Bahan Penelitian **32**

4.3.1. Filamen TPU 95A 32

4.3.2. Filamen Conductive TPU 32

4.3.3. Filamen Polylactic Acid 33

4.3.4. Selang Lateks 33

4.3.5. Konektor dan Penutup Selang 34

4.3.6. Selang Polyurethane Pneumatik 34

4.3.7. Klem Cincin 35

4.3.8. Mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 35

4.3.9. Modul ADC ADS1115 36

4.3.10. *Solenoid Valve* 37

4.3.11. Komponen Elektronik Pendukung 38

4.4. Parameter Pencetakan **39**

4.5. Perancangan Sistem **40**

4.5.1. Perancangan Aktuator dan Variasi Konfigurasi 40

4.5.2. Arsitektur Sistem 42

4.5.3. Perancangan Rangkaian dan Penentuan Resistor Referensi 43

4.5.4. Perancangan Sistem Pneumatik 45

4.5.5. Perancangan Program 45

Pengaruh Konfigurasi Conductive TPU pada Self-Sensing 3D Printed Braided Bending Actuator dengan
Sistem Teleoperasi Master-Slave
Ahmad Aziz Adyatma Salman, Ardi Wiranata S.T., M.Eng., Ph.D., IPP
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5.6. Algoritma Kendali Teleoperasi 47
4.5.7. Antarmuka Pemantauan dan Penandaan Data 49
4.6. Penentuan Variabel Penelitian 50
4.7. Prosedur Pengujian 50
4.7.1. Pengaturan Eksperimen 51
4.7.2. Pengujian Kuasi-Statik 51
4.7.3. Pengujian Respons Dinamis 52
4.7.4. Pengujian Teleoperasi 53
4.7.5. Implementasi Sistem Empat Jari 54
4.8. Metode Pengolahan dan Penyajian Data 55
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 56
5.1. Hasil Fabrikasi 56
5.1.1. Hasil Pencetakan Aktuator 56
5.1.2. **Resistansi Awal Spesimen** 56
5.1.3. **Penentuan Resistor Referensi** 57
5.1.4. Hasil Perakitan Sistem 58
5.2. Hasil Validasi Struktur 59
5.3. Karakterisasi Respons *Self-Sensing* 59
5.3.1. Kalibrasi dan Linearitas 60
5.3.2. Histeresis 61
5.3.3. Respons Tangga 61
5.3.4. Respons terhadap Variasi Tekanan 62
5.3.5. Uji Siklik 63
5.4. Karakteristik Aktuasi 64
5.5. Kinerja Teleoperasi 67
5.6. Perbandingan dan Pemilihan Konfigurasi 69

Pengaruh Konfigurasi Conductive TPU pada Self-Sensing 3D Printed Braided Bending Actuator dengan
Sistem Teleoperasi Master-Slave
Ahmad Aziz Adyatma Salman, Ardi Wiranata S.T., M.Eng., Ph.D., IPP
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.7. Implementasi Sistem Teleoperasi Empat Jari 73

5.7.1. Hasil Pengujian Fungsional 74

5.7.2. Keterbatasan Sudut Tekuk 75

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 76

6.1. Kesimpulan 76

6.2. Saran 77

DAFTAR PUSTAKA 78

LAMPIRAN 81