

**EVALUASI DAN OPTIMALISASI MATERIAL *OUTSOLE*
MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS***

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



Yohanes Eka Anggraita Putra

15 16 08620

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2019

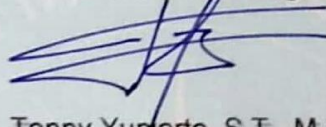
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul
**EVALUASI DAN OPTIMALISASI MATERIAL *OUTSOLE*
MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS***

yang disusun oleh
Yohanes Eka Anggraita Putra
15 16 08620

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 5 Juli 2019

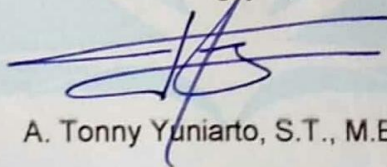
Dosen Pembimbing,



A. Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng.

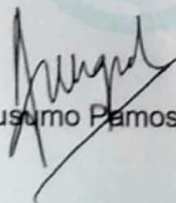
Tim Penguji,

Penguji 1,



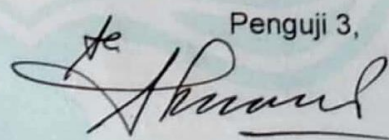
A. Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng.

Penguji 2,



Anugrah Kusumo Pamosoaji, S.T., M.T.

Penguji 3,



Dr. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., M.T.

Yogyakarta, 15 Juli 2019

Universitas Atma Jaya Yogyakarta,

Fakultas Teknologi Industri,

Dekan,



Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc.

PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yohanes Eka Anggraita Putra

NPM : 15 16 08620

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul "Evaluasi dan Optimalisasi Material *Outsole* Menggunakan *Finite Element Analysis*" merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2018/2019 yang bersifat original dan tidak mengandung *plagiasi* dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 5 Juli 2019

Yang menyatakan,



Yohanes Eka Anggraita Putra

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana teknik di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penelitian dan penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. A. Teguh Siswantoro, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
2. Ibu Ririn Diar Astanti., S.T., M.MT., D.Eng., selaku Kepala Program Studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
3. Bapak A. Tonny Yuniarto, S.T., M.Eng., atas kesediaannya menjadi pembimbing selama pengerjaan Tugas Akhir ini,
4. Bapak Dr. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., M.T., atas kesediaannya untuk memberi usulan, kritik, dan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini,
5. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Industri,
6. Bapak Sukamto, Ibu Suharti, Eyang Sumarti, Raindy, dan Rio yang merupakan keluarga penulis atas dukungan dan doa yang diberikan.
7. Bayu Indrarini, S. Psi atas dorongan dan kesabarannya dalam mendampingi pengerjaan Tugas Akhir ini,
8. Teman-teman penulis: Prima Beni, Kicky, Rivan, Abet, Jati, Bagas, Mike, Robby, Mikael, Argo, Suryo, dan Andi atas dukungan dan bantuannya.
9. Serta masih banyak pihak yang tidak dapat disebutkan semuanya.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembacanya, meskipun laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan dari semua pihak demi perkembangan karya tulis yang serupa. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 6 Juli 2019

Yohanes Eka Anggraita Putra

DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	HAL
	Halaman Judul	i
	Halaman Pengesahan	ii
	Pernyataan Originalitas	iii
	Kata Pengantar	iv
	Daftar Isi	v
	Daftar Tabel	vii
	Daftar Gambar	viii
	Daftar Lampiran	xi
	Intisari	xii
1	Pendahuluan	1
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Perumusan Masalah	2
	1.3. Tujuan Penelitian	3
	1.4. Batasan Masalah	3
2	Tinjauan Pustaka	4
	2.1. Penelitian Terdahulu	4
	2.2. Penelitian Sekarang	6
	2.3. Dasar Teori	12
3	Metodologi	21
	3.1. Studi Pendahuluan	21
	3.2. Identifikasi Masalah	22
	3.3. Pengumpulan Data dan Studi Pustaka	22
	3.4. Penyederhanaan dan Perbaikan Desain	23
	3.5. Proses <i>FEA</i>	23
	3.6. Analisis	24
	3.7. Pengambilan Kesimpulan	24

4	Profil Data dan Tahapan Simulasi	27
	4.1. <i>Hardware</i>	27
	4.2. Data Material	28
	4.3. <i>3D Orthotic Insole</i>	29
	4.4. <i>3D Outsole</i>	29
	4.5. Penyederhanaan dan Perbaikan Desain	30
	4.6. Tahapan Pengujian <i>Bending</i>	32
	4.7. Hasil Pengujian <i>Bending</i>	41
	4.8. Tahapan Pengujian <i>Torsion</i>	47
	4.9. Hasil Pengujian <i>Torsion</i>	55
	4.10. Tahapan Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	61
	4.11. Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	69
5	Analisis dan Pembahasan	74
	5.1. Analisis Proses Penyederhanaan dan Perbaikan <i>3D Outsole</i>	74
	5.2. Analisis Tahapan Pengujian <i>Bending</i>	75
	5.3. Analisis Hasil Pengujian <i>Bending</i>	78
	5.4. Analisis Tahapan Pengujian <i>Torsion</i>	80
	5.5. Analisis Hasil Pengujian <i>Torsion</i>	81
	5.6. Analisis Tahapan Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	81
	5.7. Analisis Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	82
	5.8. Evaluasi dan Optimalisasi Material <i>3D Outsole</i>	84
6	Kesimpulan dan Saran	85
	6.1. Kesimpulan	86
	6.2. Saran	86
	Daftar Pustaka	87

DAFTAR TABEL

TABEL	JUDUL	HAL
2.1	Perbandingan dan Perkembangan Penelitian	8
2.2	Lanjutan	9
2.3	Lanjutan	10
2.4	Lanjutan	11
2.5	Spesifikasi <i>Hardware</i> untuk Menjalankan <i>PowerSHAPE</i> 2017	17
2.6	Spesifikasi Grafis Laptop untuk Menjalankan <i>Abaqus</i> 2016	20
4.1	Data Material 3D <i>Outsole</i> dan <i>Indenter</i>	28
4.2	Tabel <i>Stress - Strain</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i>	44
4.3	Tabel <i>Stress - Strain</i> Hasil Pengujian Torsion	58
4.4	Tabel <i>Plantar Contact Pressure</i> , <i>Von Mises Stress</i> , dan <i>Pressure Stress</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	72
5.1	Peringkat Material Berdasarkan Hasil Pengujian	84
5.2	Kategori Elastisitas Material	85

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	JUDUL	HAL
2.1	Gaya yang Terjadi pada saat Berjalan	5
2.2	Polimerisasi <i>EVA</i>	13
2.3	<i>Non-Slip Light Weight Soft Running Sport Eva Outsole</i>	13
2.4	Reaksi Pembuatan <i>PU</i>	14
2.5	<i>Arabic Style PU Outsole</i>	14
2.6	Struktur Pengulang <i>ABS</i>	15
2.7	<i>ABS Heel Soles</i>	15
2.8	Proses Sintesis <i>PVC</i>	16
2.9	<i>PVC Outsole</i>	16
2.10	<i>Interface PowerSHAPE 2017</i>	17
2.11	<i>Interface Abaqus 2016</i>	19
3.1	<i>Flowchart</i> (a) Penelitian dan (b) <i>Trial Meshing</i>	25
3.2	<i>Flowchart</i> Proses <i>FEA</i> menggunakan <i>Abaqus 2016</i>	26
4.1	Spesifikasi Laptop	27
4.2	3D <i>Insole</i> Pasien 2: (a) Kiri dan (b) Kanan	29
4.3	3D <i>Outsole</i> Pasien 2: (a) Kiri, (b) Kanan, (c) <i>Isometric View</i>	29
4.4	Proses <i>Trial Meshing</i> Sebelum Penyederhanaan dan Perbaikan Desain 3D model <i>Outsole</i> .	30
4.5	Proses <i>Trial Meshing</i> Setelah Perbaikan dan Penyederhanaan Desain 3D Model <i>Outsole</i> .	31
4.6	3D <i>Outsole</i> Pasien 2: (a) Kiri, (b) Kanan, dan (c) <i>Isometric View</i>	31
4.7	Proses <i>Import</i> dan Pembuatan <i>Partition Face</i> 3D <i>Outsole</i>	32
4.8	Proses Pembuatan <i>Part</i> Penekuk	33
4.9	Proses Pendefinisian Material pada <i>Property Module</i>	34
4.10	Proses <i>Assembly Part</i> dan Pembuatan <i>Datum Point</i>	35
4.11	Pembuatan <i>Step</i>	36
4.12	Pembuatan <i>Reference Point</i> dan Pengaturan <i>Interaction</i>	37
4.13	Pengaturan <i>Boundary Condition</i>	38
4.14	Proses <i>Meshing</i>	39
4.15	Proses Pembuatan dan Pengeksekusian <i>Job</i>	40
4.16	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>PU</i>	41
4.17	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>EVA A</i>	42

4.18	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>EVA D</i>	42
4.19	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>EVA E</i>	43
4.20	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>ABS</i>	43
4.21	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Bending</i> material <i>PVC</i>	44
4.22	Kurva <i>Stress - Strain</i> Pengujian <i>Bending</i> : (a) <i>PU, ABS, PVC</i> ; (b) <i>EVA A, EVA D, EVA E</i>	45
4.23	Kurva <i>Strain Energy Pertime Periode</i> Pengujian <i>Bending</i> : (a) <i>PU, ABS, PVC</i> ; (b) <i>EVA A, EVA D, EVA E</i>	46
4.24	Proses <i>Import</i> dan Pembuatan <i>Partition Face 3D Outsole</i>	47
4.25	Proses Pendefinisian Material pada <i>Property Module</i>	48
4.26	Proses <i>Assembly Part</i> dan Pembuatan Datum <i>Point</i>	49
4.27	Pembuatan <i>Step</i>	50
4.28	Pembuatan <i>Reference Point</i> dan <i>Constraint</i>	51
4.29	Pengaturan <i>Boundary Condition</i>	52
4.30	Proses <i>Meshing</i>	53
4.31	Proses Pembuatan dan Pengeksekusian <i>Job</i>	54
4.32	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>PU</i>	55
4.33	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>EVA A</i>	56
4.34	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>EVA D</i>	56
4.35	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>EVA E</i>	57
4.36	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>ABS</i>	57
4.37	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Torsion</i> material <i>PVC</i>	58
4.38	Kurva <i>Stress - Strain</i> Pengujian <i>Torsion</i> : (a) <i>PU, ABS, PVC</i> ; (b) <i>EVA A, EVA D, EVA E</i>	59
4.39	Kurva <i>Strain Energy Pertime Periode</i> Pengujian <i>Torsion</i> : (a) <i>PU, ABS, PVC</i> ; (b) <i>EVA A, EVA D, EVA E</i>	60
4.40	Proses <i>Import 3D Outsole</i> dan 3D Model Kaki	61
4.41	Proses Pendefinisian Material pada <i>Property Module</i>	62
4.42	Proses <i>Assembly 3D Outsole</i> dengan 3D Model Kaki	63
4.43	Pembuatan <i>Step</i>	64
4.44	Pembuatan dan Pengaturan <i>Interaction</i>	65
4.45	Pengaturan <i>Load</i> dan <i>Boundary Condition</i>	66
4.46	Proses <i>Meshing</i>	67
4.47	Proses Pembuatan dan Pengeksekusian <i>Job</i>	68
4.48	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>PU</i>	69

4.49	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>EVA A</i>	70
4.50	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>EVA D</i>	70
4.51	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>EVA E</i>	71
4.52	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>ABS</i>	71
4.53	Diagram <i>Fringe</i> Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i> material <i>PVC</i>	72
4.54	Kurva <i>Reaction Force - Dispacement</i>	73
4.55	Kurva <i>Reaction Force – Pressure Stress</i>	73
4.56	Kurva <i>Strain Energy Pertime Periode</i>	73
5.1	<i>Export Report 3D Outsole</i> dari software <i>PowerSHAPE 2017</i>	74
5.2	Siklus Gaya Berjalan	76

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	JUDUL	HAL
1	Detail <i>Module</i> dari Manual <i>Abaqus</i> 2016	91
2	Tabel <i>Density</i> dan <i>Young's Modulus</i>	93
3	Tabel Data Kurva Hasil Pengujian <i>Bending</i>	95
4	Tabel Data Kurva Hasil Pengujian <i>Torsion</i>	97
5	Tabel Data Kurva Hasil Pengujian <i>Plantar Pressure</i>	98

INTISARI

Kenyamanan kaki berhubungan erat dengan pemilihan alas kaki yang tepat. Salah satu faktornya adalah jenis material. Karakteristik material dapat diketahui melalui pengujian mekanik.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode analisis elemen hingga (*FEA*) yang dibantu *software Computer Aided Engineering (CAE) Abaqus 2016*. Desain 3D *outsole* hasil penelitian sebelumnya diperbaiki dan disederhanakan dengan *software Computer Aided Design (CAD) PowerSHAPE 2017*. Selanjutnya, diuji menggunakan tiga pengujian mekanik yaitu *bending*, *torsion*, dan *plantar pressure* dengan enam variasi material yaitu *polyurethane (PU)*, *acrylonitrile butadiene styrene (ABS)*, *polyvinyl chloride (PVC)*, *ethylene vinyl acetate (EVA)* tipe A, D, dan E. Sifat dasar material seperti *mass density*, *poisson's ratio*, dan *young's modulus* digunakan sebagai data awal. Tahapan pengujian berdasarkan urutan *module* dalam *software Abaqus 2016*. Hasilnya berupa diagram *fringe* dan data perlakuan untuk dianalisis agar mendapat material optimal beserta parameternya.

Kenyamanan mekanik kaki dapat ditinjau dengan pengujian *bending*, *torsion*, dan *plantar pressure* pada desain 3D *outsole* untuk mendapatkan karakteristik material berupa *stress*, *strain*, dan *shock absorption*. Karakteristik tersebut menjadi parameter yang mempengaruhi kenyamanan mekanik. Material *EVA rubber* tipe A dinyatakan optimal karena memenuhi syarat. Desain 3D *outsole* yang optimal juga berpengaruh sebab nilai parameter dihitung dengan dasar element dan titiknya.

Kata Kunci: *Abaqus*, *Bending*, *Finite Element Analysis (FEA)*, *Outsole*, *Plantar Pressure*, *Torsion*