

**PERANCANGAN SOL SEPATU KHUSUS UNTUK
PENYANDANG DISABILITAS TUNA DAKSA DENGAN
METODE PAHL AND BEITZ**

SKRIPSI

OLEH:

ABDUL HADI ZAILANI DALIMUNTHE

218150078



PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 19/12/25

Access From (repositori.uma.ac.id)19/12/25

**PERANCANGAN SOL SEPATU KHUSUS UNTUK
PENYANDANG DISABILITAS TUNA DAKSA DENGAN
METODE PAHL AND BEITZ**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

OLEH:

**ABDUL HADI ZAILANI DALIMUNTHER
218150078**

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 19/12/25

Access From (repositori.uma.ac.id)19/12/25

LEMBAR PENGESAHAN

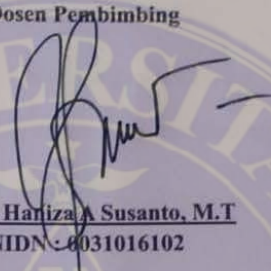
Judul Skripsi : Perancangan Sol Sepatu Khusus Untuk Penyandang
Disabilitas Tuna Daksa Dengan Metode Pahl and Beitz

Nama : Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

NPM : 218150078


Fakultas/Prodi : Teknik/Teknik Industri


Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing


Ir. Hj. Hariza A. Susanto, M.T
NIDN : 0031016102

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik **Ketua Program Studi**


Dr. Eng. Supriano, S.T., M.T
NIDN : 0102027402


Nukha Andre Silviana, S.T., M.T
NIDN : 0127038802

Tanggal Lulus : 09 September 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

NPM : 218150078

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagianbagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 09 September 2025



Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

218150078

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan
dibawah ini :

Nama : Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

NPM : 218150078

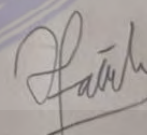
Program Studi : Teknik Industri

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada
Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (Non-exclusive
Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Perancangan Sol
Sepatu Khusus Untuk Penyandang Disabilitas Tuna Daksa Dengan Metode Pahl
and Beitz. Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area
berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk
pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap
mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 09 September 2025



Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

218150078

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Abdul Hadi Zailani Dalimunthe, lahir di Kota Medan, Kecamatan Medan Tembung, Provinsi Sumatera Utara. Lahir pada tanggal 10 Mei 2002. Penulis merupakan putra pertama dari empat bersaudara, anak dari pasangan (Alm.) Bapak Zainal Abdi Dalimunthe dan Ibu Yusjidah Lubis, serta dibesarkan dengan penuh kasih sayang oleh Bapak Sambung Azwar Ependi Seregar.

Penulis mengawali pendidikan formal di SD Swasta Islam Azizi pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan ke jenjang menengah pertama di SMP Negeri 17 Medan, Kemudian melanjutkan ke jenjang menengah atas di MA Swasta Hidayatullah Depok dan menyelesaikannya pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.

Berkat petunjuk Allah SWT, usaha yang disertai doa juga dari kedua orang tua dalam menjalani aktivitas akademik Perguruan Tinggi Swasta Universitas Medan Area. Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan skripsi yang berjudul “Perancangan Sol Sepatu Khusus Untuk Disabilitas Tuna Daksa Dengan Metode Pahl and Beitz”.

ABSTRAK

ABDUL HADI ZAILANI DALIMUNTHER (218150078). Perancangan Sol Sepatu Khusus Untuk Disabilitas Tuna Daksa Dengan Metode Pahl and Beitz. Dibimbing Oleh Dr.Ir.Hj Haniza A.Susanto M.T

Penyandang disabilitas tuna daksa dengan kondisi ketimpangan panjang kaki akibat amputasi parsial sering mengalami gangguan kestabilan, ketidaknyamanan saat berjalan, serta risiko kelelahan otot yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sol sepatu korektif yang ergonomis dan fungsional dengan pendekatan metode Pahl and Beitz, serta didukung oleh analisis distribusi normal dari data antropometri pengguna. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif berbasis data empiris dari sepuluh responden penyandang tuna daksa. Data selisih panjang kaki dianalisis menggunakan rata-rata dan simpangan baku, yang kemudian digunakan untuk menentukan rentang toleransi desain sol berdasarkan distribusi normal $Z = \pm 1,96$. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai rata-rata selisih panjang kaki sebesar 5,45 cm dengan simpangan baku 0,86 cm menghasilkan rentang toleransi desain sebesar 3,76–7,14 cm. Rentang ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan konsep desain sol korektif. Melalui tahapan metode Pahl and Beitz, desain akhir yang dipilih mempertimbangkan aspek kenyamanan, kestabilan, serta material yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis pengguna. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan produk adaptif yang responsif terhadap kebutuhan disabilitas berdasarkan pendekatan statistik dan metodologi desain sistematis.

Kata Kunci: tuna daksa, sol sepatu, distribusi normal, Pahl and Beitz, ergonomi

ABSTRACT

ABDUL HADI ZAILANI DALIMUNTHER (218150078). Design of Special Shoe Soles for Lower-Limb Disabilities Using the Pahl and Beitz Method. Supervised by Dr. Ir. Hj. Haniza A. Susanto, M.T

Individuals with lower-limb disabilities, particularly those with partial limb amputations resulting in leg length discrepancies, often experience balance disturbances, walking discomfort, and increased risk of muscle fatigue. This study aims to design an ergonomic and functional corrective shoe sole using the Pahl and Beitz method, supported by normal distribution analysis based on users' anthropometric data. A qualitative approach was applied, using empirical data from ten respondents with lower-limb disabilities. The leg length discrepancy data were analyzed using mean and standard deviation to determine the design tolerance range based on the standard normal distribution with $Z = \pm 1.96$. The analysis revealed an average discrepancy of 5.45 cm with a standard deviation of 0.86 cm, resulting in a design tolerance range of 3.76–7.14 cm. This range served as the foundation for developing a corrective sole concept. Through the Pahl and Beitz design stages, the final concept was selected by considering comfort, stability, and materials appropriate to the users' physiological needs. This research contributes to the development of adaptive products that are responsive to the needs of individuals with disabilities, integrating statistical analysis with systematic design methodology.

Keywords: lower-limb disability, shoe sole, normal distribution, Pahl and Beitz, ergonomics

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang tak henti-hentinya memberikan segala kenikmatan dan rahmat kepada seluruh hamba-Nya. Dengan Rahmat dan Hidayah-NYA, Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Sol Sepatu Khusus Disabilitas Tuna Daksa Dengan Metode Pahl and Beitz” dapat terselesaikan dengan baik. Adapun Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Tugas Akhir pada Prodi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung yaitu :

1. Kepada orang tua saya tercinta Bapak Azwar Ependi Seregar dan Ibu Yusjidah Lubis yang selalu menopang penulis dalam doa dan memberikan semangat serta nasehat untuk penulis.
2. Bapak Drs. H. M. Erwin Siregar, MBA, selaku Ketua Yayasan Universitas Medan Area.
3. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.S.c., selaku Rektor Universitas Medan Area.
4. Bapak Dr. Eng., Supriatno, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Ibu Nukhe Andri Silviana, S.T, M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area.

6. Ibu Dr.Ir.Hj Haniza A.Susanto M.T selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan motivasi pada penulis.
7. Panitia Seminar Hasil Bapak Sirmas Munte, S.T, MT. selaku Ketua Panitia, Ibu Nukhe Andri Silviana, S.T, M.T selaku Sekretaris Panitia, dan Ibu Healthy Aldriany Prasetyo, S.TP, MT selaku Pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan untuk penyelesaian skripsi ini.
8. Ibu Sri Dewi F Natadiningrat, SE., MM., Msi selaku Ketua atau Founder Rumah Difabel Sharaswaty yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
9. Ahd Yasir Abdullah, Dion Saydor, Brian Anugerah, dan Ilham Baskoro, yang telah memberikan dukungan dan turut membantu dalam menyelesaikan skripsi dan turut membantu dalam selama perkuliahan.
10. Seluruh dosen pengampu program studi Teknik industri Universitas Medan Area yang sudah memberikan ilmu kepada penulis, dan Seluruh staf karyawan/wati Teknik Industri Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini bermanfaat sebagai bahan pembelajaran dan kontribusi positif dalam pengembangan desain produk yang inklusif.

Medan, 07 Agustus 2025

Abdul Hadi Zailani Dalimunthe

218150078

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB II	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Definisi Ergonomi	8
2.2. Definisi Antropometri	9
2.3. Teori Difabel dan Disabilitas	10
2.3.1. Definisi Difabel	11

2.3.2. Definisi Disabilitas.....	11
2.4. Sol Sepatu (<i>Insole</i>)	12
2.5. Perancangan Sol Sepatu.....	12
2.5.1. Material Sol Sepatu.....	12
2.5.2. Desain Ergonomi.....	13
2.6. Pahl and Beitz	15
2.7. Wawancara.....	17
2.8. Observasi	17
2.9. Dokumentasi.....	18
2.10. Teori Distribusi Normal	18
2.11. Perancangan Fungsi Produk (<i>Black Box dan Morfologi</i>)	20
2.12. Evaluasi Desain Produk Teknik	21
2.13. Desain Inklusif dan Non-Stigmatisasi	21
BAB III.....	23
METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.2. Jenis Penelitian.....	23
3.3. Sumber Data Penelitian.....	23
3.3.1. Data Primer	24
3.3.2. Data Sekunder	24
3.4. Objek Penelitian.....	25
3.5. Subjek Penelitian	25

3.6. Metode Pengumpulan Data	25
3.7. Kerangka Berpikir	26
3.8 Definisi Variabel Operasional	26
3.8.1. Definisi Kenyamanan, Kestabilan dan Material Sol Sepatu	27
3.8.2. Pertanyaan Kenyamanan, Kestabilan dan Material Sol Sepatu	27
3.9. Flowchart Penelitian	28
BAB IV	29
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	29
4.1 Hasil Pengumpulan Data	29
4.1.1 Observasi Langsung	29
4.1.2 Wawancara	30
4.1.3 Dokumentasi Lapangan	33
4.1.4 Analisis Distribusi Normal	33
4.1.5. Evaluasi Ukuran Telapak Kaki, Ukuran Sepatu dan Sol Sepatu	36
4.2 Perancangan Produk dengan Metode Pahl and Beitz	38
4.2.1 Perencanaan dan Penjelasan Tugas	39
4.2.2 Perancangan Konsep Produk	40
4.2.3 Perancangan Bentuk Produk (Embodiment Design)	41
4.2.4 Perancangan Detail	42
4.3 Visualisasi Produk Akhir	42
4.3.1 Gambar Kerja 2D (2D Technical Drawing)	43
4.3.2 Model 3D (Three-Dimensional Design)	44

4.3.3 Spesifikasi Material Visual	45
4.4 Evaluasi Desain Akhir	45
4.4.1 Penentuan Kriteria Evaluasi	46
4.4.2 Evaluasi Konsep Desain.....	47
4.4.3 Perhitungan Nilai Akhir	47
4.4.4 Pemilihan Konsep Terbaik	48
4.4.5 Visualisasi Desain Terpilih.....	49
4.4.6 Pembahasan Evaluatif	50
4.5 Analisis Teori.....	51
4.5.1 Penerapan Teori Pahl and Beitz	51
4.5.2 Kesesuaian dengan Teori Ergonomi.....	52
4.5.3 Kesesuaian dengan Teori Material	52
BAB V	54
KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Dimensi Antropometri Kaki Pria Dewasa Indonesia.....	10
Tabel 4. 1. Tabel Hasil Wawancara	31
Tabel 4. 2. Tabel Selisih Panjang Kaki.....	34
Tabel 4. 3. Daftar Kebutuhan dan Tujuan Perancangan Sol Sepatu	39
Tabel 4. 4. Tabel Morfologi Konsep.....	40
Tabel 4. 5. Spesifikasi Material Visual Sol Sepatu.....	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tabel Z.....	20
Gambar 3. 1. Kerangka Berpikir	26
Gambar 3. 2. Flowchart Penelitian	28
Gambar 4. 1. Kurva Distribusi Normal Standar	36
Gambar 4. 2. Gambar Kerja 2D Sol Sepatu	43
Gambar 4. 3. Tampak Keseluruhan Sisi Sol.....	44
Gambar 4. 4. Keterangan Detail Sol.....	49



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mobilitas merupakan aspek fundamental yang menentukan kemampuan individu untuk menjalankan aktivitas sehari-hari, mulai dari bekerja, berinteraksi sosial, hingga memenuhi kebutuhan hidup secara mandiri. Bagi sebagian besar orang, berjalan adalah aktivitas yang dilakukan tanpa hambatan berarti. Namun, bagi penyandang disabilitas tuna daksa—khususnya mereka yang mengalami perbedaan panjang tungkai bawah akibat amputasi, cedera, atau kelainan sejak lahir—mobilitas menjadi tantangan yang signifikan. Hambatan ini tidak hanya memengaruhi kemandirian fisik, tetapi juga berdampak pada kesehatan, partisipasi sosial, dan kualitas hidup secara keseluruhan.

Di Indonesia, masalah mobilitas pada tuna daksa merupakan isu yang cukup serius. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2022), sekitar 21,84% penyandang disabilitas fisik mengalami gangguan pada tungkai bawah, mencakup amputasi, kelumpuhan, maupun perbedaan panjang kaki. Data Statistik Sosial BPS (2023) juga menunjukkan bahwa lebih dari 1,5 juta penyandang disabilitas fisik berat di Indonesia menghadapi hambatan berjalan, di mana 38% di antaranya memiliki keterbatasan fungsi mobilitas yang signifikan. Secara lokal, Dinas Sosial Provinsi Sumatera Utara (2023) mencatat bahwa di Kota Medan terdapat lebih dari 6.000 penyandang disabilitas, dan sekitar 1.200 orang di antaranya mengalami gangguan pada tungkai bawah.

Dari perspektif medis, perbedaan panjang tungkai bawah yang melebihi 2 cm dapat

memengaruhi distribusi beban biomekanik pada tubuh. Gurney (2002) dalam *Gait & Posture* mengungkapkan bahwa selisih 2–5 cm dapat mengubah pola berjalan (gait pattern), meningkatkan tekanan pada sendi pinggul dan lutut, serta memicu nyeri punggung kronis. Sementara itu, perbedaan yang melebihi 5 cm berpotensi meningkatkan risiko ketidakseimbangan tubuh dan cedera hingga 45%. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada kemampuan bergerak, tetapi juga memengaruhi postur tubuh dalam jangka panjang.

Fenomena ini ditemukan secara nyata di komunitas penyandang disabilitas tuna daksa, seperti di Rumah Difabel Sharaswaty, Kota Medan. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, mayoritas anggota komunitas mengalami perbedaan panjang tungkai antara 3,76–7,14 cm. Meski demikian, sebagian besar belum menggunakan alat bantu mobilitas yang dirancang secara ergonomis. Banyak di antaranya hanya memodifikasi alas kaki secara tradisional dengan bahan seperti busa, kain, atau karet, yang pada kenyataannya dapat mengurangi kestabilan, memperburuk postur, dan menimbulkan ketidaknyamanan.

Kondisi tersebut diperparah dengan keterbatasan produk sol sepatu korektif yang tersedia di pasaran. Kebanyakan produk tidak dirancang secara individual sesuai kebutuhan anatomi dan biomekanik penyandang tuna daksa. Faktor kenyamanan, fleksibilitas, serta estetika sering kali terabaikan, padahal Gopalakrishna et al. (2019) melaporkan bahwa lebih dari 60% pengguna alat bantu mobilitas menempatkan kenyamanan dan tampilan estetis sebagai pertimbangan utama dalam pemilihan produk.

Menanggapi permasalahan tersebut, penelitian ini memfokuskan diri pada

perancangan sol sepatu korektif yang khusus ditujukan bagi penyandang disabilitas tuna daksa dengan selisih panjang tungkai 3,76–7,14 cm. Metode Pahl and Beitz digunakan sebagai pendekatan sistematis yang meliputi klarifikasi kebutuhan, pengembangan konsep, perancangan bentuk, dan perancangan detail. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya mengakomodasi kebutuhan spesifik pengguna melalui analisis terstruktur berbasis data empiris.

Sol sepatu yang dirancang bersifat modular, sehingga ketinggian dapat disesuaikan dengan kebutuhan individual. Lapisan outsole menggunakan bahan *rubber* anti-slip untuk menjaga kestabilan, midsole berbahan EVA foam untuk fleksibilitas dan bobot ringan, serta insole berbahan *memory foam* yang mengikuti kontur kaki guna meningkatkan kenyamanan penggunaan.

Dengan rancangan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam menyediakan solusi mobilitas adaptif bagi penyandang disabilitas tuna daksa. Selain memenuhi kebutuhan teknis, desain ini juga mempertimbangkan faktor psikososial dan kualitas hidup, sehingga mampu mendukung partisipasi penuh penyandang disabilitas dalam kehidupan bermasyarakat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini ialah:

1. Bagaimana merancang sol sepatu yang mampu memberikan kenyamanan optimal bagi penyandang disabilitas tuna daksa dalam aktivitas harian?
2. Bagaimana memastikan kestabilan gerak pengguna melalui struktur sol

sepatu yang aman dan ergonomis?

3. Bagaimana memilih dan mengkombinasikan material sol yang sesuai untuk kebutuhan harapan, kekuatan, keawetan, dan kenyamanan penggunaan jangka panjang?

1.3. Batasan Masalah

Adapun untuk batasan permasalahan dalam penelitian ini akan di jelaskan sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada penyandang disabilitas tuna daksa akibat kecelakaan yang mengalami selisih panjang tungkai antara 3,76–7,14 cm, sesuai dengan data hasil observasi di lokasi penelitian.
2. Produk yang dirancang berupa sol sepatu korektif modular, bukan sepatu penuh, dengan kemampuan mengatur elevasi sesuai kebutuhan pengguna. Material yang digunakan dibatasi pada EVA foam, rubber anti-slip, dan memory foam sesuai karakteristik kenyamanan, fleksibilitas, dan kestabilan yang diinginkan.
3. Penilaian desain dilakukan dengan pendekatan kualitatif melalui observasi dan wawancara terhadap pengguna, serta dilengkapi pengukuran kuantitatif terkait dimensi antropometri kaki, selisih panjang tungkai, dan penyesuaian elevasi sol.
4. Penelitian hanya mencakup penyandang disabilitas tuna daksa berusia 20–45 tahun, guna memastikan konsistensi data pada kelompok usia produktif dengan kebutuhan mobilitas aktif.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dituliskan sebelum nya, ada pun tujuan dari penelitian tersebut ialah:

1. Merancang sol sepatu korektif modular yang mampu memberikan tingkat kenyamanan optimal bagi penyandang disabilitas tuna daksa, sehingga dapat mendukung aktivitas harian tanpa menimbulkan tekanan berlebih.
2. Meningkatkan kestabilan gerak pengguna dalam mobilitas harian melalui desain struktur sol yang seimbang, aman, dan sesuai prinsip ergonomi distribusi beban tubuh.
3. Menentukan kombinasi material sol yang ringan, fleksibel, dan tahan lama, yang sesuai untuk aktivitas luar ruang serta penggunaan jangka panjang, sehingga produk yang dihasilkan memiliki performa fungsional sekaligus kenyamanan estetis.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu perancangan produk berbasis kebutuhan khusus (*inclusive design*), khususnya dalam penerapan metode Pahl and Beitz pada desain alat bantu mobilitas untuk penyandang disabilitas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi akademik maupun praktis bagi pengembangan produk adaptif yang lebih ergonomis dan fungsional.

2. Bagi Disabilitas

Produk sol sepatu korektif yang dihasilkan diharapkan mampu meningkatkan kenyamanan dan kestabilan saat bergerak, sehingga pengguna dapat beraktivitas dengan lebih bebas, aman, dan percaya diri. Manfaat ini mencakup peningkatan kualitas hidup serta dukungan terhadap partisipasi aktif penyandang disabilitas dalam kegiatan sosial dan ekonomi.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang mengapa penelitian ini diangkat, permasalahan yang terjadi dalam perusahaan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi rangkuman dari hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang sedang dilakukan. Selain itu, bab ini juga mencakup konsep dan prinsip dasar yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah penelitian, serta dasar teori yang mendukung kajian yang akan dilaksanakan dalam penelitian tersebut.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai materi, alat, prosedur penelitian, serta data yang akan digunakan untuk mengkaji dan menganalisis

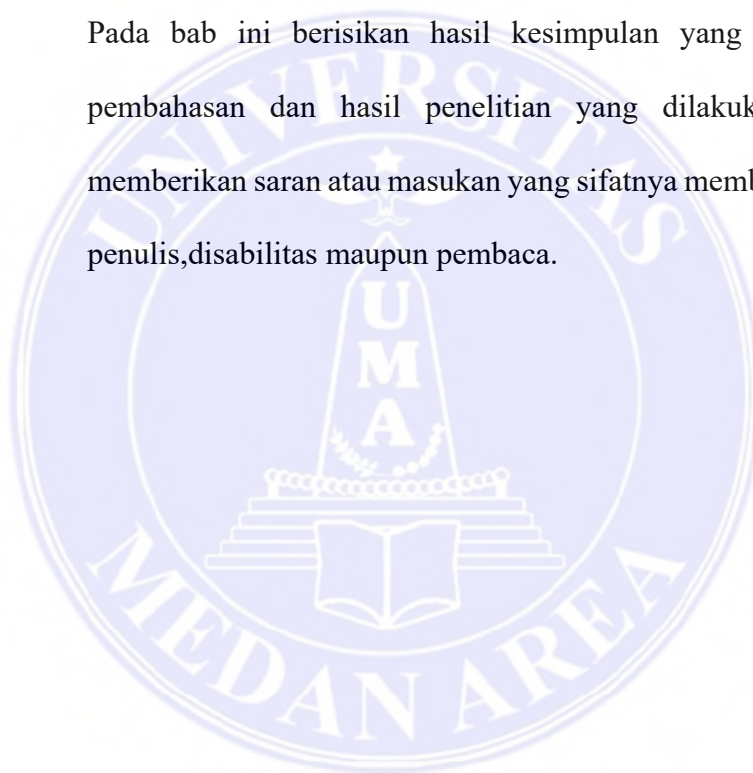
sesuai dengan diagram alur yang telah disusun.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan data-data yang dikumpulkan selama penelitian, yang kemudian diolah menggunakan metode yang telah ditetapkan. Hasil dari pengolahan data tersebut akan menghasilkan kesimpulan dan saran.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan hasil kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan dan hasil penelitian yang dilakukan. Kemudian memberikan saran atau masukan yang sifatnya membangun bagi diri penulis, disabilitas maupun pembaca.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Ergonomi

Menurut (Hendrawan et al., 2024) Ergonomi berasal dari bahasa Latin, yaitu *Ergos* yang berarti "pekerjaan" dan *Nomos* yang berarti "aturan alam." Secara umum, ergonomi dapat didefinisikan sebagai proses penyesuaian pekerjaan agar sesuai dengan pekerja (*fitting the job to workers*). Bidang ilmu ini mencakup seni dan teknologi untuk mencocokkan atau mengimbangi berbagai fasilitas yang digunakan selama aktivitas atau istirahat dengan kemampuan serta keterbatasan manusia, baik dari segi fisik maupun mental.

Ergonomi bertujuan menciptakan kondisi kerja yang lebih nyaman, aman, dan efisien. Dengan demikian, penerapan ergonomi tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga kesehatan pekerja dalam jangka panjang. Menurut para ahli ergonomi dapat diartikan sebagai berikut :

1. Menurut (Nugroho, 2021) Ergonomi merupakan bidang ilmu yang fokus pada mempelajari sifat, kemampuan, dan keterbatasan manusia dengan tujuan merancang sistem kerja yang efektif. Tujuan utama ergonomi ialah menciptakan lingkungan kerja yang mendukung kesehatan, kenyamanan, dan kesejahteraan pekerja.
2. Menurut (Putri & Hidayat, 2022) Ergonomi merupakan cabang ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dan pekerjaannya. Fokus utama ergonomi ialah memahami interaksi manusia dengan elemen-elemen dalam sistem kerjanya, seperti mesin, peralatan, metode, sistem, dan prosedur kerja.

2.2. Definisi Antropometri

Antropometri merupakan cabang ilmu ergonomi yang mempelajari dimensi tubuh manusia dan penerapannya dalam desain produk, lingkungan kerja, dan alat bantu. Dalam konteks perancangan produk, antropometri digunakan untuk menentukan ukuran, bentuk, dan ruang gerak yang sesuai agar produk dapat digunakan secara optimal oleh pengguna.

Menurut Pheasant & Haslegrave (2005), antropometri sangat penting dalam mendesain produk yang menyentuh tubuh manusia secara langsung, karena perbedaan dimensi tubuh dapat memengaruhi kenyamanan, keamanan, dan efektivitas penggunaan. Oleh karena itu, data antropometri menjadi dasar dalam menentukan ukuran sol sepatu yang ergonomis, khususnya untuk penyandang disabilitas tuna daksa yang memiliki perbedaan panjang tungkai akibat kecelakaan.

Dalam penelitian ini, fokus pengguna ialah individu dewasa usia 20–45 tahun, yang umumnya memiliki ukuran tubuh yang stabil dan telah mencapai pertumbuhan maksimum. Data antropometri yang digunakan mengacu pada publikasi dari Puspiptek – LIPI (2012) dan beberapa data standar dari SNI 7331:2009 tentang dimensi tubuh manusia Indonesia.

Berikut ialah tabel data antropometri kaki pria dewasa Indonesia yang relevan dengan desain sol sepatu:

Tabel 2. 1. Dimensi Antropometri Kaki Pria Dewasa Indonesia

No	Parameter Antropometri	Rata-rata (mm)	Keterangan
1	Panjang kaki (heel-to-toe)	260–280	Diukur dari tumit hingga ujung jari kaki
2	Lebar kaki (metatarsal)	90–105	Diukur pada bagian terlebar kaki
3	Tinggi tumit	40–60	Penting untuk menentukan tinggi elevasi sol
4	Tebal insole ergonomis	10–15	Untuk kenyamanan dan distribusi tekanan
5	Ketinggian lengkung kaki	12–20	Untuk mendesain kontur sol bagian tengah

Sumber: Puspiptek-LIPI (2012), SNI 7331:2009

Antropometri kaki ini digunakan dalam tahap klarifikasi tugas dan spesifikasi teknis pada metode Pahl and Beitz. Dengan memahami ukuran kaki pengguna, desainer dapat menentukan panjang sol standar (misalnya 270 mm), lebar yang nyaman (95 mm), serta tinggi modul EVA yang disesuaikan (3,76–7,14 cm) untuk mengimbangi selisih panjang tungkai pada pengguna tuna daksa.

Selain itu, pengukuran antropometri ini juga menjadi dasar pemilihan bentuk kontur sol bagian dalam (insole), agar dapat menopang telapak kaki secara ergonomis dan tidak menyebabkan tekanan berlebih pada area lengkung atau tumit.

Dengan mengacu pada data ini, desain sol sepatu tidak hanya mempertimbangkan kebutuhan fungsional, tetapi juga menyesuaikan dengan proporsi tubuh pengguna Indonesia secara nyata.

2.3. Teori Difabel dan Disabilitas

Istilah difabel digunakan untuk menggambarkan individu yang memiliki

kemampuan yang berbeda dari standar masyarakat pada umumnya. Fokusnya ialah pada potensi dan kemampuan, bukan keterbatasan.

Sedangkan disabilitas lebih sering digunakan dalam konteks medis atau kelembagaan untuk merujuk pada kondisi fisik, mental, atau sensorik yang membatasi seseorang dalam melakukan aktivitas tertentu.

2.3.1. Definisi Difabel

Menurut (Umam & Arifin, 2020) Istilah "difabel" berasal dari bahasa Inggris, yaitu "difable" (Differently able, Different ability, Differentlyabled people), yang merujuk pada seseorang dengan kemampuan yang berbeda. Menurut KBBI, difabel berarti penyandang cacat. Dengan demikian, istilah ini digunakan untuk merujuk pada individu yang memiliki cacat. Difabel dipilih untuk menggantikan kata "disabilitas," yang pada tahun 1990-an dianggap diskriminatif dan mengandung pandangan negatif oleh para aktivis gerakan sosial.

2.3.2. Definisi Disabilitas

Menurut (Umam & Arifin, 2020) Istilah Disabilitas berasal dari bahasa Inggris "*Dis able, Disability*" yang berarti ketidak mampuan. *The Social Work Dictionary* mendefinisikan disabilitas sebagai ketidakmampuan seseorang untuk melakukan hal-hal yang dapat dilakukan oleh orang lain akibat cacat fisik yang dimilikinya, baik secara permanen maupun sementara. Penggunaan istilah ini merujuk pada dampak fungsional yang timbul akibat kerusakan tubuh seseorang.

2.4. Sol Sepatu (*Insole*)

Menurut (Umardani et al., 2022) Sol (*Insole*) sepatu merupakan bagian dalam sepatu yang langsung bersentuhan dengan kaki pengguna selama melakukan berbagai aktivitas. Komponen ini memiliki peran penting dalam memberikan kenyamanan, dukungan, dan perlindungan pada kaki.

Menurut (Purwantini & Dwianto, 2020) Insole sepatu merupakan bagian dalam sepatu yang terletak di bawah kaki, berfungsi sebagai titik kontak langsung antara kaki dan tanah. Insole memainkan peran penting dalam mendukung kenyamanan dan kesehatan kaki dengan menyediakan bantalan serta meredam tekanan yang dihasilkan saat kaki menyentuh permukaan tanah.

2.5. Perancangan Sol Sepatu

Perancangan sol sepatu merupakan proses sistematis dalam menciptakan struktur bagian bawah sepatu yang berfungsi sebagai titik kontak utama antara tubuh manusia dan permukaan tanah. Sol sepatu tidak hanya berperan sebagai pelindung telapak kaki dari benturan dan permukaan kasar, tetapi juga menjadi komponen vital yang mendukung kenyamanan, kestabilan, dan efisiensi biomekanik saat bergerak.

2.5.1. Material Sol Sepatu

Material merupakan substansi atau bahan yang digunakan untuk membuat suatu objek atau produk. Material bisa berupa berbagai jenis zat seperti logam, plastik, kayu, kain, karet, dan lain-lain. Dalam konteks pembuatan sol sepatu, material yang digunakan harus dipilih dengan cermat untuk memastikan sol tersebut memberikan kenyamanan, dukungan, dan daya tahan yang optimal.

Beberapa jenis material yang sering digunakan dalam pembuatan sol sepatu meliputi:

1. EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*)

Ethylene Vinyl Acetate merupakan polimer elastomer yang bersifat lentur menyerupai karet, lembut, fleksibel, tahan terhadap suhu rendah, tidak mudah retak, tahan air, serta memiliki ketahanan terhadap radiasi UV.

2. Rubber

Rubber merupakan polimer hidrokarbon yang dihasilkan dari lateks berbagai jenis tumbuhan, terutama dari pohon karet (*Hevea brasiliensis*). Bahan ini bersifat elastis dan daya cekraman yang optimal untuk mencegah terjadinya tergelincir.

3. Gel

Gel merupakan zat semi-padat yang terdiri dari jaringan padat yang dituangkan ke dalam cairan. Dengan struktur uniknya, gel mengombinasikan karakteristik padatan dan cairan. Biasanya, gel memiliki sifat kenyal, fleksibel, serta mampu menyerap dan menahan udara atau cairan lainnya dalam jumlah besar. Sifat serbagunanya membuat gel banyak dimanfaatkan.

2.5.2. Desain Ergonomi

Desain ergonomi merupakan proses menciptakan produk dengan memperhatikan aspek fisik dan psikologis pengguna. Dalam konteks ini, desain sol sepatu perlu disesuaikan dengan kebutuhan khusus penyandang disabilitas tuna

daksa untuk memastikan sepatu tersebut memberikan kenyamanan maksimal dan mendukung mobilitas disabilitas.

Dalam hal ini desain ergonomi sol sepatu untuk penyandang disabilitas memerlukan perhatian pada beberapa aspek penting, yaitu:

1. Kesesuaian Ukuran dan Bentuk

Memanfaatkan data antropometri untuk merancang ukuran dan bentuk sol sepatu yang sesuai dengan kontur kaki penyandang tuna daksa sangatlah penting. Hal ini bertujuan untuk mencegah ketidaknyamanan dan risiko cedera akibat distribusi tekanan yang tidak merata pada kaki.

2. Dukungan Struktural

Sol sepatu perlu dilengkapi dengan dukungan lengkung yang optimal untuk mendistribusikan berat badan secara merata dan mengurangi tekanan pada area kaki yang lemah. Selain itu, bagian belakang sepatu harus dirancang untuk memberikan stabilitas ekstra pada tumit, membantu menjaga posisi kaki tetap stabil saat berjalan.

3. Kenyamanan dan Bantalan

Menggunakan bahan seperti EVA dan gel dapat memberikan bantalan yang optimal, sehingga membantu mengurangi dampak saat kaki mendarat dan meningkatkan kenyamanan selama berjalan.

4. Stabilitas dan Traksi

Mengaplikasikan pola traksi yang tepat dapat meningkatkan daya cengkeram pada berbagai permukaan, sehingga mengurangi risiko tergelincir saat berjalan. Selain itu, tinggi sol perlu dirancang secara cermat

agar tidak mengganggu keseimbangan, khususnya bagi penyandang tuna daksa.

2.6. Pahl and Beitz

Menurut (Priyatna & Safirin, 2023) Pahl & Beitz mengusulkan cara merancang produk sebagai mana di jelaskan dalam bukunya; *Engineering Design: A Systematic Approach*. Cara merancang Pahl & Beitz tersebut terdiri dari 4 kegiatan atau fase, yang masing- masing terdiri dari beberapa langkah. Keempat fase tersebut ialah: (1) perencanaan dan penjelasan tugas; (2) perencanaan konsep produk; (3) perencanaan bentuk produk; dan (4) perencanaan detail.

Menurut (Aminullah et al., 2024) Metode Pahl and Beitz mengusulkan cara merancang produk yang telah dijelaskan dalam buku, *Engineering Desain: A Systematic Approach*. Cara merancang Pahl and Beitz terdiri dari 4 kegiatan atau fase, yang masing-masing terdiri dari beberapa langkah. Keempat fase tersebut ialah:

1. Perencanaan dan Penjelasan Produk

Penjelasan produk merupakan proses yang dimulai dari penciptaan ide produk hingga produk tersebut dapat diperkenalkan dan dipasarkan. Proses ini melibatkan berbagai tahapan, mulai dari riset pasar, desain, pengembangan, hingga uji coba produk sebelum akhirnya diluncurkan ke pasar.

Perencanaan produk merupakan proses naluriah dalam mencari informasi dari prospek pasar yang ada untuk proyek pengembangan produk yang sedang berlangsung.

2. Perancangan Konsep Produk

Tahap perancangan konsep dimulai dengan membuat fungsi utama dan fungsi bagian dengan metode blackbox. Fungsi bagian yang dibuat dituliskan dalam bentuk tabel morfologi berupa alternatif solusi bagian, yang digabungkan hingga terbentuk variasi konsep. Variasi konsep ditentukan oleh penilaian dilihat dari kriteria user dan kriteria manufaktur. konsep terpilih yang nantinya akan dijadikan dasar pada tahapan perancangan detail. Pada tahap perancangan detail, konsep terpilih akan dianalisis lebih mendalam, dimulai dengan perhitungan yang cermat dalam pemilihan komponen standar dan non-standar.

Tujuan dari perancangan konsep produk ialah untuk menghasilkan sebanyak mungkin konsep produk, tanpa terikat pada kelayakan teknis atau ekonomi pada tahap awal. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan produk untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan inovasi, ide, dan solusi.

Proses menghasilkan dan menyaring konsep ini berlanjut sampai tim berhasil mempersempit jumlah konsep produk yang layak. Setelah itu, analisis konsep yang lebih rinci diluncurkan. Konsep dievaluasi menggunakan serangkaian kriteria yang dikembangkan oleh tim pengembangan dan konsep produk baru terbaik dipilih. Pemilihan konsep dianggap sebagai langkah penting dalam proses pengembangan produk, karena tim pengembangan akan menentukan semua fitur dan spesifikasi produk utama, dan upaya pengembangan akan dilakukan untuk mengembangkan produk sebagaimana ditentukan dalam langkah ini.

3. Perancangan Bentuk Produk (embodiment design)

Perancangan (design) merupakan suatu proses atau rekayasa yang dimulai dari ide-ide inovatif dalam desain, atau kemampuan untuk menciptakan karya yang dapat memenuhi kebutuhan pasar, yang didukung oleh penelitian dan pengembangan teknologi.

4. Perancangan Detail

Perencanaan terperinci menjadwalkan informasi yang diperoleh dari tahap perencanaan bisnis dan perancangan sistem ke dalam sistem yang dibuat.

2.7. Wawancara

Menurut Dr.R.A Fadhallah,S.Psi,M.Si (2021) yang dikutip oleh (Wenno & Amelia, 2022) Wawancara merupakan bentuk komunikasi yang dilakukan antara dua pihak atau lebih, yang umumnya melibatkan interaksi tatap muka. Dalam wawancara, salah satu pihak berperan sebagai interviewer (penanya) dan pihak lainnya sebagai interviewee (yang diwawancarai). Tujuan utama dari wawancara ialah untuk memperoleh informasi atau mengumpulkan data.

2.8. Observasi

Menurut (Hasibuan et al., 2023) Observasi merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui sesuatupengamatan, dengan disertai pencatatan-pencatatan terhadap keadaan atau prilaku objek sasaran.

Menurut Nana Sudjana observasi ialah pengamatan dan pencatatan yang sistematis terhadap gejala-gejala yang diteliti. Teknik observasi merupakan proses pengamatan dan pencatatan yang terstruktur terhadap fenomena-fenomena yang

sedang diteliti. Dalam arti yang luas, observasi sebenarnya tidak hanya terbatas pada pengamatan yang dilaksanakan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Sedangkan Menurut Sutrisno Hadi, metode observasi diartikan sebagai proses pengamatan dan pencatatan secara terstruktur terhadap fenomena-fenomena yang sedang diteliti. Pengamatan (observasi) ialah metode pengumpulan data di mana peneliti atau kolaborator mencatat informasi berdasarkan apa yang mereka amati langsung selama proses penelitian. Dalam pengamatan, peneliti secara aktif mengamati objek, individu, atau peristiwa yang menjadi fokus studi untuk mendapatkan informasi yang relevan.

2.9. Dokumentasi

Menurut (Hasan et al., 2022) Dokumentasi merupakan suatu proses sistematis dalam menyediakan dan mengelola dokumen yang bersumber dari informasi yang valid dan tercatat secara akurat. Kegiatan ini mencakup pencatatan serta pengelompokan berbagai informasi dalam bentuk tulisan, gambar, maupun video. Untuk menjaga keteraturan dan kemudahan akses terhadap dokumen tersebut, diperlukan suatu wadah penyimpanan yang terorganisir. Dalam konteks ini, sistem manajemen dokumen berfungsi sebagai pusat penyimpanan informasi, yang memungkinkan berbagai pengguna mengakses versi dokumen terbaru dari satu lokasi yang terintegrasi. Penyimpanan yang terpusat ini juga memfasilitasi distribusi dokumen secara efisien kepada pengguna terkait.

2.10. Teori Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan konsep statistik yang menggambarkan sebaran data berbentuk simetris menyerupai lonceng (bell-shaped curve). Distribusi ini

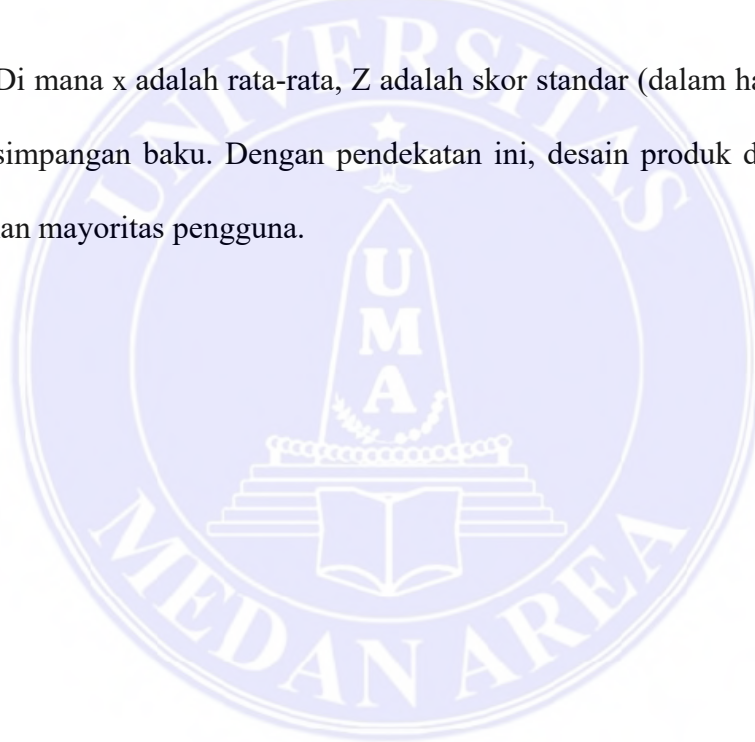
umum digunakan dalam desain produk ergonomis untuk menentukan batas toleransi berdasarkan data antropometri populasi.

Menurut Trihendradi (2012), distribusi normal digunakan untuk memprediksi sebaran ukuran tubuh manusia dalam perancangan produk ergonomis. Dalam distribusi normal standar, nilai Z sebesar $\pm 1,96$ mencakup 95% data populasi.

Rumus rentang toleransi dapat dihitung sebagai berikut:

$$Rentang = \bar{x} \pm Z \cdot \sigma$$

Di mana \bar{x} adalah rata-rata, Z adalah skor standar (dalam hal ini 1,96), dan σ adalah simpangan baku. Dengan pendekatan ini, desain produk dapat mencakup kebutuhan mayoritas pengguna.



	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

Gambar 2. 1. Tabel Z

2.11. Perancangan Fungsi Produk (*Black Box dan Morfologi*)

Dalam metode Pahl and Beitz, perancangan dimulai dengan mendefinisikan fungsi utama dan fungsi bagian dari produk. Salah satu pendekatan yang digunakan

ialah diagram Black Box, yang menggambarkan hubungan antara input dan output produk tanpa merinci mekanisme internal. Menurut Pahl & Beitz (2007), diagram fungsi membantu dalam memahami transformasi yang diharapkan dari suatu produk. Setelah itu, pengembangan solusi dilakukan melalui Tabel Morfologi, yaitu matriks berisi alternatif untuk tiap fungsi bagian yang dikombinasikan untuk membentuk berbagai konsep desain.

2.12. Evaluasi Desain Produk Teknik

Evaluasi konsep produk dalam desain teknik dilakukan melalui metode penilaian berbobot yang mempertimbangkan beberapa kriteria penting. Setiap kriteria diberikan bobot sesuai tingkat kepentingannya, dan masing-masing konsep dinilai dengan skala numerik untuk mendapatkan nilai total.

Menurut Pugh (1991), metode evaluasi berbobot merupakan pendekatan rasional untuk membandingkan alternatif desain berdasarkan preferensi pengguna dan pertimbangan teknis. Dalam skripsi ini, kriteria evaluasi meliputi kenyamanan (40%), kestabilan (35%), dan material (25%) yang dikalikan dengan skor 1–5 untuk tiap konsep.

2.13. Desain Inklusif dan Non-Stigmatisasi

Desain inklusif atau *inclusive design* adalah pendekatan desain yang memastikan produk dapat digunakan oleh sebanyak mungkin orang, termasuk mereka yang memiliki disabilitas. Clarkson et al. (2013) menjelaskan bahwa desain inklusif harus mengakomodasi perbedaan kemampuan pengguna tanpa membuat pengguna merasa berbeda secara sosial.

Prinsip desain inklusif mencakup:

1. Ketersediaan produk untuk semua kalangan.
2. Kenyamanan dan keamanan bagi pengguna dengan kebutuhan khusus.
3. Estetika yang tidak menandakan produk sebagai "alat bantu" agar tidak menimbulkan stigma.

Dalam konteks sol sepatu khusus, desain yang menyerupai produk umum (warna netral, bentuk umum) serta kenyamanan adaptif merupakan bentuk nyata dari prinsip inklusif.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Rumah Difabel Sharaswaty, yang berlokasi di Jl. Beringin II No. 81, Kelurahan Helvetia Tengah, Kecamatan Medan Helvetia, Kota Medan. Lokasi ini dipilih karena merupakan tempat aktivitas sehari-hari penyandang disabilitas tuna daksa yang menjadi subjek penelitian. Adapun waktu pelaksanaan penelitian berlangsung dari November 2024 hingga Juli 2025.

3.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif, dengan tujuan untuk memahami secara mendalam kebutuhan, pengalaman, dan persepsi penyandang disabilitas tuna daksa dalam menggunakan sol sepatu. Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian tidak bertumpu pada angka statistik, melainkan pada makna subjektif, narasi pengalaman, dan interpretasi pengguna terhadap kenyamanan, kestabilan, dan material produk yang dirancang.

3.3. Sumber Data Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan bersumber dari dua jenis utama, yaitu data primer dan data sekunder, yang masing-masing berperan penting dalam mendukung proses perancangan produk. Pendekatan yang digunakan bersifat kualitatif, sehingga pengumpulan data tidak bertujuan untuk memperoleh angka statistik, melainkan untuk menggali makna, pengalaman, dan persepsi mendalam dari para informan yang menjadi subjek penelitian.

3.3.1. Data Primer

Data primer merupakan data utama yang diperoleh secara langsung dari pengamatan dan interaksi lapangan dengan penyandang disabilitas tuna daksa yang menjadi partisipan penelitian. Data primer dalam penelitian ini diperoleh secara langsung dari partisipan utama, yaitu penyandang disabilitas tuna daksa yang mengalami selisih panjang tungkai akibat kecelakaan. Data ini bersifat kualitatif dan mendalam, menggambarkan persepsi, pengalaman, serta kebutuhan pengguna terkait penggunaan sol sepatu.

Sumber data primer meliputi:

1. Wawancara dengan pengguna mengenai kenyamanan, kestabilan, dan preferensi material.
2. Observasi terhadap perilaku pengguna saat berjalan dan menggunakan alas kaki.
3. Dokumentasi berupa foto, catatan observasi, dan rekaman kegiatan yang relevan.

3.3.2. Data Sekunder

Data sekunder ini memberikan kerangka teoretis dan pemahaman tambahan untuk mendukung analisis data primer, tanpa melibatkan dokumen-dokumen pendukung seperti laporan medis. Data ini digunakan untuk memperkuat analisis dan memberikan konteks lebih luas terhadap temuan dari data primer. Teknik purposive sampling digunakan untuk memilih responden yang sesuai dengan kriteria penelitian. Pendekatan ini memastikan bahwa data yang diperoleh relevan dan mendalam.

3.4. Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini ialah proses perancangan sol sepatu modular yang dirancang khusus untuk meningkatkan kenyamanan, kestabilan, dan efektivitas material bagi penyandang tuna daksa yang mengalami selisih panjang tungkai antara 3,76–7,14 cm.

3.5. Subjek Penelitian

Subjek penelitian merupakan penyandang disabilitas tuna daksa berusia 20–45 tahun, yang mengalami ketimpangan panjang kaki akibat kecelakaan (non-bawaan). Subjek dipilih menggunakan teknik purposive sampling, yaitu berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan fokus penelitian.

3.6. Metode Pengumpulan Data

Terdapat tiga metode dalam pengumpulan data, ketiga metode yang dimaksud ialah sebagai berikut melalui:

1. Observasi

Observasi dilakukan untuk melihat langsung pola berjalan, postur tubuh, dan interaksi pengguna terhadap alas kaki yang mereka gunakan. Observasi bersifat partisipatif pasif, di mana peneliti tidak mengintervensi aktivitas pengguna.

2. Wawancara

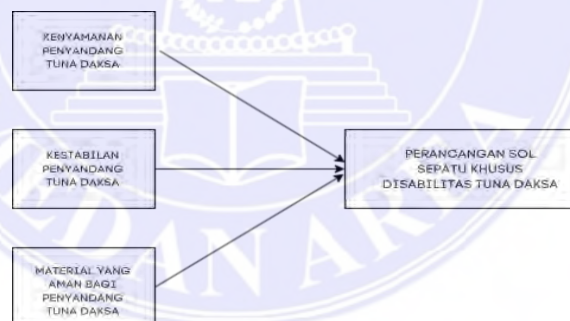
Wawancara digunakan untuk menggali persepsi pengguna terhadap kenyamanan, kestabilan, dan material dari sol sepatu. Wawancara bersifat terbuka dan fleksibel, dengan panduan pertanyaan utama yang dapat dikembangkan sesuai situasi.

3. Dokumentasi

Dokumentasi berupa foto, catatan observasi, serta cuplikan interaksi saat pengguna mencoba produk (jika memungkinkan), digunakan untuk memperkuat data naratif yang diperoleh.

3.7. Kerangka Berpikir

Menurut (Syahputri et al., 2023) Kerangka berpikir merupakan landasan pemikiran dalam penelitian yang disusun dari fakta-fakta, observasi, dan tinjauan pustaka. Oleh karena itu, kerangka berpikir mencakup teori, prinsip, atau konsep-konsep yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian. Didalam kerangka pemikiran variabel-variabel penelitian dijelaskan secara mendalam dan relevan dengan permasalahan yang diteliti, sehingga dapat dijadikan dasar untuk menjawab permasalahan penelitian. Berikut gambar yang menjelaskan kerangka berpikir sol khusus disabilitas tuna daksa:



Gambar 3. 1. Kerangka Berpikir

3.8 Definisi Variabel Operasional

Variabel operasional merupakan variabel yang digunakan dalam penelitian yang telah didefinisikan secara spesifik dan rinci sehingga dapat diukur atau diamati. Variabel ini berfungsi sebagai pedoman untuk mengukur fenomena yang menjadi fokus penelitian.

3.8.1. Definisi Kenyamanan, Kestabilan dan Material Sol Sepatu

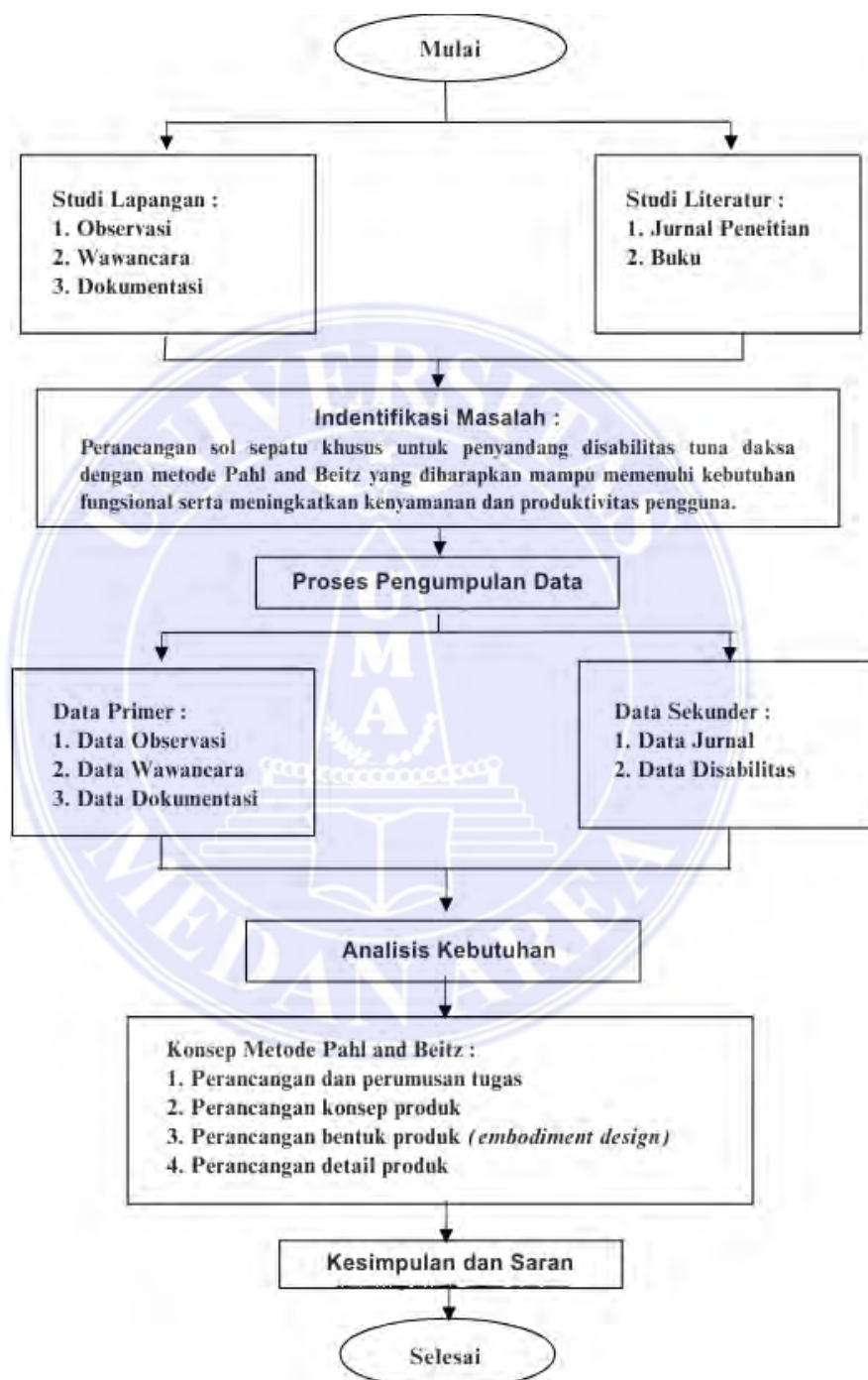
Kenyamanan	Kestabilan	Material
Kenyamanan sol sepatu khusus Merujuk pada kemampuan sol sepatu tersebut untuk mendukung kaki pengguna dengan optimal, mengurangi rasa sakit, dan memfasilitasi pola berjalan yang lebih nyaman dan alami. Kondisi tuna daksa sering disebabkan oleh perbedaan panjang kaki (<i>leg length discrepancy</i>), kelemahan otot, cedera, atau gangguan struktural lainnya, sehingga desain sol harus memperhatikan kebutuhan pengguna.	Kestabilan sol sepatu khusus mengacu pada kemampuan sol sepatu untuk memberikan dukungan yang kokoh dan memastikan keseimbangan tubuh saat pengguna berjalan atau berdiri. Kestabilan ini sangat penting bagi individu dengan pola berjalan yang tidak simetris atau perbedaan panjang kaki, karena membantu mencegah ke sinkronisasi yang dapat menyebabkan kelelahan otot, cedera, atau rasa tidak nyaman.	Material sol sepatu khusus merujuk pada bahan-bahan yang digunakan untuk membuat sol sepatu yang dirancang untuk memberikan kenyamanan, dukungan, dan kestabilan bagi individu dengan pola berjalan tidak simetris atau kebutuhan hidup. Bahan ini dipilih secara khusus untuk mengatasi masalah mobilitas, seperti distribusi tekanan yang tidak merata, perbedaan panjang kaki, dan minimalnya penyerapan guncangan.

3.8.2. Pertanyaan Kenyamanan, Kestabilan dan Material Sol Sepatu

Pertanyaan Kenyamanan	Pertanyaan Kestabilan	Pertanyaan Material
Bagaimana kenyamanan sol sepatu Anda saat digunakan dalam aktivitas harian?	Apakah Anda merasa stabil saat berjalan menggunakan sol sepatu yang ada sekarang?	Bagaimana pendapat Anda terhadap bahan sol yang ringan namun kuat dan tidak kaku?
Apakah kenyamanan bentuk sudah mengikuti struktur kaki Anda dengan baik?	Berapa selisih panjang kaki Anda, dan apakah memengaruhi kestabilan berjalan?	Bagaimana pendapat Anda soal bahan sol yang sekarang Anda gunakan?
Apa yang Anda harapkan dari sol sepatu yang nyaman?	Apakah penggunaan sol yang stabil membuat Anda lebih percaya diri dalam beraktivitas?	Apakah Anda lebih memilih sol yang kuat atau sol yang fleksibel?
Apakah sol bawaan sepatu Anda mengikuti bentuk kaki Anda dengan baik?		

3.9. Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian merupakan langkah-langkah proses melakukan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan proposal dalam bentuk bagan.



Gambar 3. 2. Flowchart Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan merancang sol sepatu khusus yang memberikan kenyamanan, kestabilan, dan pemilihan material yang tepat bagi penyandang disabilitas tuna daksa, khususnya mereka yang memiliki perbedaan panjang tungkai 3,76–7,14 cm (rata-rata 5,45 cm). Proses perancangan dilakukan secara sistematis menggunakan metode *Pahl and Beitz*, dengan dukungan studi pustaka yang menekankan prinsip ergonomi dan antropometri agar desain sesuai dengan karakteristik fisik pengguna.

Berdasarkan hasil perancangan, analisis data lapangan, dan evaluasi desain, dapat disimpulkan:

1. Kenyamanan dicapai melalui penerapan data antropometri kaki dan tungkai responden serta hasil observasi dan wawancara. Sol dilengkapi lapisan *memory foam* pada tumit untuk meredam benturan, dan *Lycra breathable* pada insole untuk menjaga sirkulasi udara dan mencegah panas berlebih. Penyesuaian tinggi sol bersifat modular (3,76–7,14 cm) agar sesuai dengan kondisi postur masing-masing pengguna. Evaluasi menunjukkan peningkatan kenyamanan pada aktivitas berdiri, berjalan, dan bergerak dalam rutinitas harian.
2. Kestabilan diperoleh dari struktur sol yang mengikuti prinsip ergonomi, dengan kontur pendukung pada zona *arch* dan penyeimbang lateral untuk mendistribusikan beban tubuh secara merata. Outsole menggunakan pola

traksi *gigi gergaji* dan *hexagonal* pada material rubber untuk meningkatkan daya cengkeram di berbagai permukaan, sehingga mengurangi risiko tergelincir. Rancangan ini membantu pengguna mempertahankan keseimbangan postur dan mengurangi beban pada tungkai yang lebih pendek.

3. Pemilihan material didasarkan pada hasil wawancara dengan penyandang disabilitas tuna daksa yang mengalami perbedaan panjang tungkai. Dari proses ini, diperoleh kombinasi material yang dianggap paling sesuai oleh responden, yaitu:

1. EVA (lapisan bantalan) yang ringan, nyaman, dan tidak mudah kempis, menjaga peredaman benturan.
2. Gel midsole yang elastis, kuat, dan menopang struktur kaki agar stabil saat bergerak.
3. Rubber outsole yang tahan aus, memiliki daya cengkeram tinggi, dan dapat digunakan di berbagai medan tanpa kehilangan performa. Hasilnya adalah sol yang tahan lama, nyaman digunakan, dan tetap stabil di berbagai kondisi lingkungan.

Integrasi prinsip ergonomi dan data antropometri pada ketiga aspek ini menghasilkan produk yang tidak hanya fungsional, tetapi juga mampu meningkatkan mobilitas, rasa percaya diri, dan kualitas hidup penyandang disabilitas tuna daksa dalam aktivitas sehari-hari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama proses perancangan, maka peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk Penelitian Selanjutnya:

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan prototipe fisik dari desain ini dan melakukan pengujian langsung terhadap pengguna guna mengevaluasi kenyamanan, daya tahan material, dan efektivitas kompensasi tinggi dalam situasi nyata.

2. Untuk Perancang dan Industri:

Diharapkan desain ini dapat menjadi inspirasi bagi industri alas kaki untuk memproduksi sol sepatu inklusif yang ergonomis, sehingga penyandang disabilitas dapat memperoleh akses terhadap produk fungsional tanpa merasa dikucilkan secara visual maupun sosial.

3. Untuk Pengguna dan Lembaga Disabilitas:

Sol ini dapat menjadi solusi adaptif bagi pengguna tuna daksa ringan hingga sedang. Pihak yayasan atau lembaga disabilitas disarankan untuk bekerja sama dengan desainer dan manufaktur untuk mendistribusikan produk ini secara lebih luas.

4. Untuk Institusi Pendidikan Teknik:

Studi ini menunjukkan pentingnya penerapan pendekatan sistematis seperti metode Pahl and Beitz dalam proyek-proyek desain sosial. Diharapkan pendekatan ini dapat menjadi rujukan dalam pembelajaran dan tugas akhir mahasiswa teknik perancangan produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminullah, M. G. R., Jurnaidi, M. I., Nugroho, M. Y. A., & Jakaria, R. B. (2024). Penerapan Metode Ergonomic Function Deployment Guna Perancangan Kursi Belajar. *Jurnal Ilmu Teknik*, 1(4), 200–204. <https://doi.org/10.62017/tektionik>
- Hasan, H., Informasi, S., Vidio, D., & Pendahuluan, I. (2022). *Pengembangan sistem informasi dokumentasi terpusat pada stmik tidore mandiri*. 2(1), 23–29.
- Hasibuan, P., Azmi, R., Arjuna, D. B., & Rahayu, S. U. (2023). Analisis Pengukuran Temperatur Udara Dengan Metode Observasi Analysis of Air Temperature Measurements Using the Observational Method. *ABDIMAS: Jurnal Garuda Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 8–15. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Hendrawan, A., Hendrawan, A. K., Budiarti, P., & Rayendra, A. (2024). *Ergonomi Kemudi Kapal dengan Pendekatan Antropometri*. 8(2).
- Nugroho, A. J. (2021). *Tinjauan Produktivitas Dari Sudut Pandang Ergonomi*. [http://eprints.uty.ac.id/8829/%0Ahttp://eprints.uty.ac.id/8829/1/BUKU-Tinjauan Produktivitas-Pak Andung - edit.pdf](http://eprints.uty.ac.id/8829/%0Ahttp://eprints.uty.ac.id/8829/1/BUKU-Tinjauan%20Produktivitas-Pak%20Andung%20-%20edit.pdf)
- Clarkson, J., Coleman, R., Hosking, I., & Waller, S. (2013). *Inclusive design: Design for the whole population*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7440-0>
- Gual, J., & Molenbroek, J. F. (2009). Anthropometry as a tool for design: A review of ergonomics standards. *Applied Ergonomics*, 40(4), 1021–1029. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.01.002>
- Keates, S., & Clarkson, P. J. (2004). *Countering design exclusion: An introduction to inclusive design*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3754-2>
- Otto, K., & Wood, K. (2001). *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Prentice Hall.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering design: A systematic approach* (3rd ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Pugh, S. (1991). *Total design: Integrated methods for successful product*

- engineering*. Addison-Wesley.
- Trihendradi, C. (2012). *Statistika dengan SPSS*. Andi Publisher.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Priyatna, T., & Safirin, M. T. (2023). Perancangan Kemasan Kopi Bubuk dan Tingkat Kepuasan Pelanggan dengan Metode Quality Function Deployment (QFD), Pahl and Beitz, dan Kano. *Ekonomis: Journal of Economics and Business*, 7(2), 1070. <https://doi.org/10.33087/ekonomis.v7i2.1289>
- Purwantini, D., & Dwianto, I. H. (2020). Pengaruh Insole Sepatu 5 ° Dan 10 ° Terhadap Penurunan Gula Darah Puasa Penderita Diabetes Melitus Tipe 2. *Indonesian Journal of Physiotherapy Research and Education*, 1(1), 26–30.
- Putri, D., & Hidayat, M. K. (2022). Analisis Pengukuran Ergonomi Metode ROSA Saat Perkuliahan Daring. *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, 3(2), 115–120. <https://doi.org/10.31294/imtechno.v3i2.1257>
- Syahputri, A. Z., Fallenia, F. Della, & Syafitri, R. (2023). Kerangka berfikir penelitian kuantitatif. *Tarbiyah: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*, 2(1), 160–166.
- Umam, M. M., & Arifin, R. (2020). Aksesabilitas Kaum Difabel Dalam Perlindungan Hukumnya Dalam Perspektif Hak Asasi Manusia. *Pena Justisia: Media Komunikasi dan Kajian Hukum*, 18(1), 46–54. <https://doi.org/10.31941/pj.v18i1.1089>
- Umardani, Y., Suprihanto, A., Dwi Ananta Tarigan, K., Sudharto, J., & Tembalang Semarang, S. (2022). *Pembuatan Sisipan Sol Sepatu dari Material Komposit Silicone Rubber menggunakan Cetakan Berbahan Dasar Kayu*. 24(21), 54–60.
- Wenno, I. A., & Amelia, W. (2022). Pelaksanaan blended learning pada anak ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder) (Studi Kasus Pada Siswa Kelas IV SD Tiranus Pondok Kopi). *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, 4, 1707–1715.
- Santosa, B. (2011). *Perancangan Produk*. Surabaya: ITS Press.

- Helander, M., Landauer, T. K., & Prabhu, P. V. (1997). *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier.
- Sulistyowati, D. A., & Putra, A. D. (2022). Desain Produk Inklusif untuk Penyandang Disabilitas Tuna Daksa. *Jurnal Desain Inklusif Indonesia*, 6(1), 34–42.
- Nugroho, M. A., & Arifin, M. R. (2021). Aplikasi Prinsip Ergonomi dalam Desain Sepatu Korektif. *Jurnal Ergonomi dan Desain Produk*, 9(2), 78–86.
- Widodo, T. (2020). Analisis Antropometri dalam Pengembangan Produk Alas Kaki Inklusif. *Jurnal Teknik Industri dan Ergonomi*, 12(2), 112–120.
- Kumar, A., & Lee, H. (2018). Ergonomic Shoe Sole Design Using Anthropometric Data: A Statistical Approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 85–94.
- Ramadhani, R., & Siregar, F. (2021). Studi Perbandingan Ketinggian Sol untuk Ketidakseimbangan Tungkai Bawah. *Jurnal Rekayasa Biomedis*, 5(1), 25–31.
- Borg, J., & Östergren, P. O. (2015). Users' Perspectives on Assistive Devices: A Study in Bangladesh. *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(2), 118–124.
- Wignjosoebroto, S. (2003). *Ergonomi: Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya: ITS Press.
- Sutalaksana, I. Z., et al. (2006). *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: ITB.
- Nurhayati, E. (2019). Pengaruh Ketidakseimbangan Panjang Kaki terhadap Postur Tubuh. *Jurnal Fisioterapi dan Rehabilitasi*, 7(1), 40–47.
- Prabowo, A., & Hendrayana, A. (2020). Pengembangan Alas Kaki untuk Terapi Skoliosis Ringan. *Jurnal Teknologi Kesehatan*, 8(2), 102–110.
- Widyatama, G., & Maharani, D. (2023). Desain Alas Kaki Adaptif Berbasis Data Biomekanika. *Jurnal Desain Produk Ergonomis*, 11(1), 15–24.
- Santosa, B. (2011). *Perancangan Produk*. Surabaya: ITS Press.
- Helander, M., Landauer, T. K., & Prabhu, P. V. (1997). *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier.

- Sulistiyowati, D. A., & Putra, A. D. (2022). Desain Produk Inklusif untuk Penyandang Disabilitas Tuna Daksa. *Jurnal Desain Inklusif Indonesia*, 6(1), 34–42.
- Nugroho, M. A., & Arifin, M. R. (2021). Aplikasi Prinsip Ergonomi dalam Desain Sepatu Korektif. *Jurnal Ergonomi dan Desain Produk*, 9(2), 78–86.
- Widodo, T. (2020). Analisis Antropometri dalam Pengembangan Produk Alas Kaki Inklusif. *Jurnal Teknik Industri dan Ergonomi*, 12(2), 112–120.
- Kumar, A., & Lee, H. (2018). Ergonomic Shoe Sole Design Using Anthropometric Data: A Statistical Approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 85–94.
- Ramadhani, R., & Siregar, F. (2021). Studi Perbandingan Ketinggian Sol untuk Ketidakseimbangan Tungkai Bawah. *Jurnal Rekayasa Biomedis*, 5(1), 25–31.
- Borg, J., & Östergren, P. O. (2015). Users' Perspectives on Assistive Devices: A Study in Bangladesh. *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(2), 118–124.
- Wignjosuebrotto, S. (2003). *Ergonomi: Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya: ITS Press.
- Sutalaksana, I. Z., Tjakraatmadja, J. H., & Baroto, T. (2006). *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: ITB.
- Nurhayati, E. (2019). Pengaruh Ketidakseimbangan Panjang Kaki terhadap Postur Tubuh. *Jurnal Fisioterapi dan Rehabilitasi*, 7(1), 40–47.
- Prabowo, A., & Hendrayana, A. (2020). Pengembangan Alas Kaki untuk Terapi Skoliosis Ringan. *Jurnal Teknologi Kesehatan*, 8(2), 102–110.
- Widyatama, G., & Maharani, D. (2023). Desain Alas Kaki Adaptif Berbasis Data Biomekanika. *Jurnal Desain Produk Ergonomis*, 11(1), 15–24.