REDESAIN WADAH TANAMAN DI *GREENHOUSE* MENGGUNAKAN METODE TRIZ DAN PENDEKATAN ANTROPOMETRI

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Yona Nurhaliza
No. Mahasiswa : 21522298

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan hasil karya orisinal saya sendiri, kecuali pada bagian kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya dengan jelas. Apabila di kemudian hari terbuki bahwa pernyataan ini tidak benar dan melaggar peraturan yang berlaku, saya siap menerima konsekuensinya, termasuk penarikan ijazah yang telah diberikan oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 26 November 2025

(Yona Nurhaliza)

NIM. 21522298

SURAT BUKTI PENELITIAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. fti@uii.ac.id
W. fti.uii.ac.id

Nomor : 69/Ka.Lab DSK&E/70/Lab. DSK&E/VIII/2025
Hal : **Surat Keterangan Penelitian**

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Kami yang bertanda tangan di bawah ini Kepala Laboratorium Desain Sistem Kerja dan Ergonomi (DSK&E), Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia, dengan ini ingin memberitahukan bahwa mahasiswa di bawah telah melakukan penelitian di Laboratorium DSK&E.

Nama Peneliti	:	Yona Nurhaliza
NIM	:	21522298
Program Studi	:	Teknik Industri-FTI-UII
Tempat Penelitian	:	1. Greenhouse Arsi Farm 2. Laboratorium Desain Sistem Kerja & Ergonomi
Waktu Penelitian	:	20 April - 20 Agustus 2025
Judul Penelitian	:	Redesain Wadah Tanaman di *Greenhouse* Menggunakan Metode TRIZ dan Pendekatan Antropometri
Dosen pembimbing	:	Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng.

Demikian surat keterangan ini kami buat, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 29 Agustus 2025
Kepala Laboratorium DSK&E,

Chancard Basumerda, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

REDESAIN WADAH TANAMAN DI *GREENHOUSE* MENGGUNAKAN METODE TRIZ DAN PENDEKATAN ANTROPOMETRI

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

Nama : Yona Nurhaliza
No. Mahasiswa : 21522298

Yogyakarta, 26 November 2025

Dosen Pembimbing

(Dr. Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng., IPU)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEGUJI

REDESAIN WADAH TANAMAN DI *GREENHOUSE* MENGGUNAKAN METODE TRIZ DAN PENDEKATAN ANTROPOMETRI

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Yona Nurhaliza

No. Mahasiswa : 21522298

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 26 November 2025

Tim Penguji

Dr. Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng., IPU	
Ketua	
Vembri Noor Helia, ST, MT	
Anggota I	
Nashrullah Setiawan, ST, M.Si., Ph.D	
Anggota II	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya tugas akhir ini. Saya mempersembahkan karya ini sebagai ungkapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat selama proses penyusunan. Terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada kedua orang tua atas kasih sayang, doa, dan pengorbanan yang menjadi sumber kekuatan. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada keluarga yang selalu memberi dorongan dan motivasi. Saya berterima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh dosen Program Studi Teknik Industri atas ilmu, bimbingan, dan arahan yang diberikan. Tidak lupa, terima kasih kepada teman-teman seperjuangan atas kebersamaan, semangat, dan kerja sama dalam menghadapi berbagai tantangan.

MOTTO

"Hanya menginginkan pengalaman positif akan menghasilkan sesuatu yang negatif, sebaliknya menerima pengalaman negatif akan menjadi sesuatu yang positif"

"Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka pasti adzab-Ku amat pedih"
(QS. Ibrahim: 7)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraakaatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah rahmat serta nikmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir berjudul "Redesain Wadah Tanaman di *Greenhouse* Menggunakan Metode Triz dan Pendekatan Antropometri" dapat terselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknologi Industri. Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat kekurangan dan keterbatasan. Dalam peroses penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan, saran, dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridawan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng., IPU selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memberikan waktu dan tenaga untuk membimbing dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Orang tua tercinta, Ubak dan Umak yang senantiasa memberikan kasih sayang, mendoakan dan mendukung dalam segala bentuk selama menempuh pendidikan.
5. Kakak-kakak penulis, Kiay, Niay, Kaka Ratu dan Kak Qori beserta paket mininya yang terus memberikan nasihat dan dukungan yang membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Nadya Khanza Aprilia rekan satu dosen pembimbing, yang selalu saling mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
7. R. Nakula Indira Banyunaksa yang selalu pengertian dan setia mendampingi di setiap proses.
8. Teman-teman penulis, Bunga, Sera, Salsa, Cesa, Nasya, Anna, Aurel, Dyna, Nabol, Sasty, Shelma dan Vira yang menjadi tempat berbagi tawa dan sebagai motivasi dalam proses penjalanan ini.
9. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan bantuan dalam berbagai bentuk selama penyusunan tugas akhir.

Yogyakarta, 11 – September – 2025

Yona Nurhaliza
NIM 21522298

ABSTRAK

Greenhouse salah satu solusi dalam mengatasi keterbatasan lahan pertanian serta iklim, namun wadah tanaman yang digunakan masih memiliki keterbatasan. Wadah berbahan pipa paralon yang digunakan cenderung kaku, boros air, serta kurang ergonomis. Penelitian ini bertujuan merancang ulang wadah tanaman di *greenhouse* dengan memanfaatkan metode TRIZ untuk menyelesaikan persimpangan desain, serta pendekatan antropometri agar produk sesuai dengan dimensi tubuh pengguna. Metode penelitian meliputi identifikasi masalah, analisis *improving features* dan *worsening features* dengan parameter TRIZ, penyusunan matriks kontradiksi untuk menentukan prinsip inventif, serta perancangan desain. Data antropometri dikumpulkan dari empat ukuran utama (tinggi badan, tinggi siku, lebar bahu, dan jangkauan tangan) dan dianalisis menggunakan persentil ke-50 sebagai acuan ergonomis. Hasil penelitian menghasilkan desain wadah tanaman yang lebih fleksibel, efisien dalam penggunaan air melalui sistem irigasi tetes, memiliki tempat tanah dan cadabgan air, ergonomis, serta hemat biaya. Perbaikan desain ini diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan kerja petani sekaligus mendukung produktivitas dan budidaya di *greenhouse*.

Kata kunci: TRIZ, antropometri, wadah tanaman, ergonomi, *greenhouse*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **II**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **III**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **IV**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEGUJI ..... **V**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **VI**
MOTTO ..... **VII**
KATA PENGANTAR ..... **VIII**
ABSTRAK ..... **IX**
DAFTAR ISI ..... **X**
DAFTAR TABEL ..... **XII**
DAFTAR GAMBAR ..... **III**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 6
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Batasan Penelitian 6
1.6 Sistematika Penulisan 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**
2.1 Kajian Literatur 9
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 *Greenhouse* 12
2.2.2 Wadah Tanaman 12
2.2.3 Irigasi Tetes 13
2.2.4 Pengertian Redesain 13
2.2.5 Antropometri 13
2.2.6 TRIZ 16
BAB III METODE PENELITIAN **30**
3.1 Objek Penelitian 30
3.2 Subjek Penelitian 30
3.3 Instrumen Penelitian 30
3.4 Metode Pengumpulan Data 31
3.5 Metode Pengolahan Data 31
3.5.1 Pilih masalah teknik 31
3.5.2 Merumuskan kontradiksi 31
3.5.3 Menentukan *inventif principles* 31
3.5.4 Perhitungan Antropometri 31
3.6 Alur Penelitian 33
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA **36**
4.1 Pengumpulan Data 36
4.1.1 Observasi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan 36
4.1.2 Data Antropometri 36
4.2 Pengolahan Data 38
4.2.1 Analisis Produk Sebelumnya 38
4.2.2 *Model of Problem* 39
4.2.3 Analisis Kontradiksi 40

4.2.4 *Improving Features* 42
4.2.5 *Worsening Features* 43
4.2.6 Analisis Matriks Kontradiksi 44
4.2.7 *Inventive Principles* 45
4.2.8 Uji Normalitas Data 49
4.2.9 Perhitungan Antropometri dan Persentil 49
4.2.10 Desain Virtual 50
4.2.11 Dimensi Produk 52
4.2.12 Spesifikasi Produk 53
4.2.13 Prinsip Kerja Wadah Tanaman 54
BAB V PEMBAHASAN 56
5.1 Analisis *Inventive Principles* 56
5.1.1 Atribut Modular Fleksibel 56
5.1.2 Atribut Hemat Air 57
5.1.3 Atribut Tempat Penampungan Tanah dan Cadangan Air 59
5.1.4 Atribut Ketinggian Ergonomis 60
5.1.5 Atribut Bahan Lebih Hemat 61
5.2 Analisis Antropometri 62
5.4 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Redesain 64
5.5 Kekuragan Penelitian 66
BAB VI PENUTUP 67
6.1 Kesimpulan 67
6.2 Saran 68
6.2.1 Saran Untuk Pengguna 68
6.2.2 Saran Untuk Peneliti 68
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur 11
Tabel 2. 2 Keterangan Dimensi Antropometri Tubuh 15
Tabel 2. 3 TRIZ 39 Parameter 17
Tabel 2. 4 TRIZ *Inventive Principles* 23
Tabel 4. 1 Data Antropometri 36
Tabel 4. 2 *Model of Problem* 39
Tabel 4. 3 Analisis Kontradiksi 40
Tabel 4. 4 *Improving Features* 42
Tabel 4. 5 *worsening feature* 43
Tabel 4. 6 Matriks Kontradiksi 44
Tabel 4. 7 *Inventive Principles* 45
Tabel 4. 8 Uji Normalitas 49
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Dimensi Tubuh 50
Tabel 4. 10 Dimensi Produk 52
Tabel 4. 11 Spesifikasi Produk 53

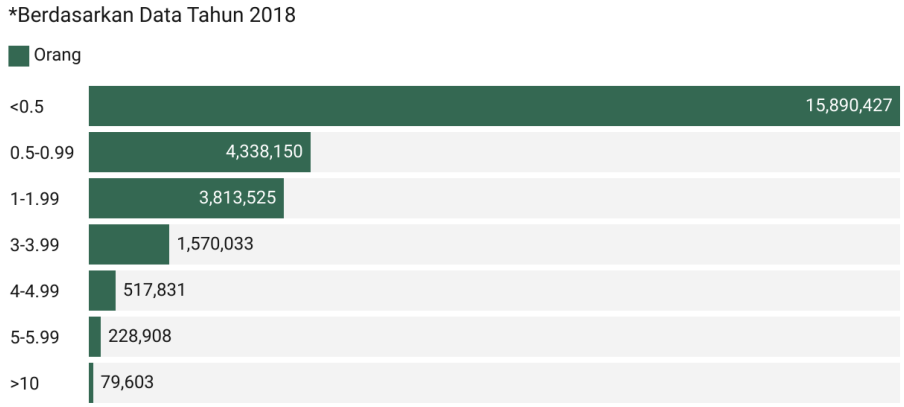
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Golongan Luas Lahan Pertanian yang Dikuasai 1
Gambar 1. 2 Ilustrasi Kendala Wadah Tanaman..... 3
Gambar 2. 1 Dimensi Antropometri Tubuh 14
Gambar 2. 2 Matriks Kontradiksi..... 23
Gambar 3. 1 Alur Penelitian..... 33
Gambar 4. 1 Wadah Tanaman Sebelumnya 38
Gambar 4. 2 Desain Wadah Tanaman Tampak Samping 50
Gambar 4. 3 Desain Wdah Tanaman Tampak Isometrik 51
Gambar 4. 4 Desain Wadah Taman Tampak Keseluruhan 51
Gambar 5. 1 Komponen Wadah Tanaman 57
Gambar 5. 2 Komponen Sistem Irigasi 58
Gambar 5. 3 Komponen Tempat Tanah dan Cadangan Air 59
Gambar 5. 4 Komponen Tinggi Wadah Tanaman 60
Gambar 5. 5 Tinggi Wadah Tanaman 63
Gambar 5. 6 Jarak Wadah Tanaman 63

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbanyak didunia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2024 diperkirakan telah mencapai lebih dari 280 juta jiwa dan angka ini diproyeksikan terus meningkat setiap tahunnya. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini tentu membawa konsekuensi terhadap meningkatnya kebutuhan dasar masyarakat, terutama dalam hal penyediaan pangan. Ketersediaan pangan yang cukup, aman dan terjangkau menjadi salah satu isu nasional yang harus diatasi guna menjamin ketahanan pangan jangka panjang. Menurut CNBC Indonesia (2023) dapat dilihat pada Gambar 1. 1 dari data BPS mayoritas atau 15,89 juta petani hanya memiliki luas lahan pertanian kurang dari 0,5 ha. Dimana hal ini menunjukkan ketimpangan luas lahan yang dimiliki oleh petani dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat mempengaruhi tingkat kebutuhan pangan nasional. Data dari Kementerian Pertanian juga menunjukkan bahwa alih fungsi lahan pertanian di Indonesia terjadi dengan laju sekitar 90-100 ribu hektare (Nabila & Anandaputri, 2023). Hal ini menyebabkan ketimpangan antara ketersediaan pangan dan lahan pertanian yang terus menyusut akibat alih fungsi lahan untuk pemukiman dan industri menjadi hambatan dalam memenuhi kebutuhan tersebut.



Gambar 1. 1 Golongan Luas Lahan Pertanian yang Dikuasai
(Sumber: www.cnbcindonesia.com)

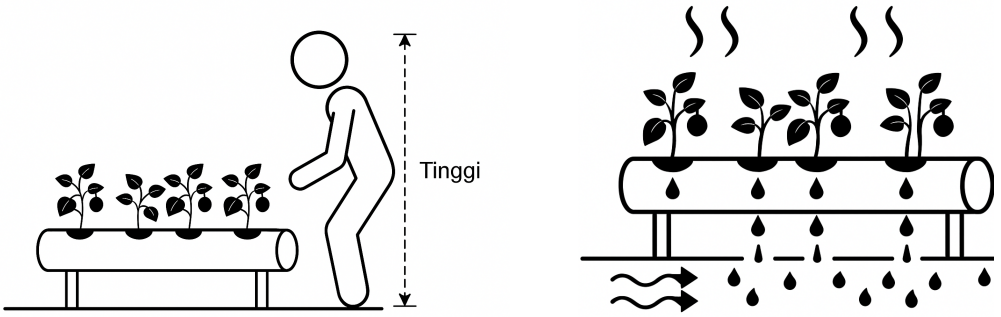
Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan wilayah indonesia yang berada di sisi selatan Pulau Jawa. Yogyakarta termasuk wilayah yang cukup padat penduduk dan termasuk wilayah yang terancam alih fungsi lahan pertanian terutama persawahan di kota Yogyakarta,

berdasarkan kompas.com urusan pangan masyarakat kota Yogyakarta mulai mengandalkan pasokan dari daerah lain. Selain itu, ketika memasuki iklim ekstrem seperti hujan secara terus menerus membuat hasil pertanian kurang maksimal yang akhirnya membuat hasil panen pertanian yang kurang berkualitas. Beberapa komonitas petani di Yogayakarta mulai menggunakan *greenhouse* untuk mengatasi ketimpangan antara kebutuhan pangan dan keterbatasan lahan. Menurut KBBI, *greenhouse* merupakan bangunan berupa rumah kaca dengan struktur tertutup menggunakan plastik UV, yang berfungsi untuk mengendalikan iklim mikro (suhu, kelembapan dan cahaya) sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal dan berkelanjutan". Salah satu bagian penting dalam lingkungan *greenhouse* adalah wadah tanaman yang digunakan sebagai penampung media tanam tumbuhan. KBBI mendefinisikan wadah tanaman sebagai sarana atau tempat tumbuh tanaman, dan pengatur kelembapan, serta dipilih agar tidak perlu sering diganti saat pergantian tanaman.

Implementasi wadah tanaman di *greenhouse* pada kenyataannya masih menghadapi berbagai tantangan teknis, khususnya dalam aspek desain dan kenyamanan kerja bagi petani. Berdasarkan hasil observasi langsung dan wawancara dengan pengelola Arsi *Farm Greenhouse,* didapatkan bahwa *greenhouse* yang seharusnya berfungsi menciptakan iklim mikro yang mendukung pertumbuhan tanaman, namun wadah tanaman yang digunakan dilapangan (pipa paralon) masih memiliki banyak keterbatasan. Wadah bersifat permanen sehingga tidak fleksibel atau dapat dibongkar-pasang sesuai kebutuhan, serta kapasitas media tanam terbatas tanpa adanya penampungan tanah maupun cadangan air, dan penggunaan pipa PVC membutuhkan biaya relatif tinggi. Selain itu, ketinggian wadah tanaman yang hanya setinggi lutut orang dewasa (45-50 cm) membuat posisi kerja yang tidak ergonomis ini menyebabkan kelelahan otot, nyeri punggung bagian bawah dan berpotensi menimbulkan gangguan muskuloskeletal apabila dilakukan terus-menerus (Pratiwi et al., 2009).

Gambar 1. 2 menunjukkan selain masalah kenyamanan kerja dan fleksibilitas media taman. Sistem irigasi pada Arsi *Farm Greenhouse* membutuhkan air yang dialirkan dari lubang pipa dengan volume tetap, dan sistem irigasi terbuka membuat penggunaan air tidak maksimal karena banyak terbuang. Hal ini menyebabkan pemborosan karena air harus mengalir secara kontinue, yang menyebabkan air menggenang dan terjadi evaporasi. Penggunaan air yang tidak maksimal ini bertentangan dengan prinsip pertanian berkelanjutan, terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya air (Widiastuti & Susilo Wijayanto, 2018). Dalam mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan perancangan ulang suatu produk,

sistem, atau objek agar lebih baik dan sesuai kebutuhan (redesain). Dimana jika dilihat secara garis besarnya wadah tanaman Arsi *Farm Greenhouse* masih memiliki beberapa kekurangan yaitu terbatas pada satu jenis tanaman, boros air, tidak ergonomis dan membutuhkan modal yang cukup mahal. Berdasarkan hal tersebut ada beberapa hal yang ingin ditingkatkan yaitu wadah yang bisa dipindah dan disusun ulang, air tersalurkan merata dan lebih hemat, media tanam tahan lama, ketinggian wadah sesuai jangkauan tangan, dan lebih murah.



(ketinggian tidak ergonimis) (air tumpah dan menggenang)

Gambar 1. 2 Ilustrasi Kendala Wadah Tanaman

Berdasarkan masalah tersebut, maka diperlukan adanya perbaikan dan inovasi terkait dengan wadah tanaman di Arsi *Farm Greenhouse* untuk kenyamanan petani dalam berkebun. Terdapat berbagai metode yang dapat diterapkan dalam proses perancangan ulang (redesain) alat atau mesin agar lebih sesuai dengan kebutuhan pengguna. Salah satu pendekatan umum pada penelitian yang dilakukan (Nurhayati, 2022; Rahmanulia et al., 2023) menggunakan metode *House of Quality* (HoQ), yaitu suatu teknik sistematis yang bertujuan untuk menerjemahkan kebutuhan dan harapan konsumen ke dalam spesifikasi teknis produk. Informasi mengenai kebutuhan tersebut diperoleh melalui penyebaran kuesioner yang menggali atribut-atribut produk yang dianggap penting oleh konsumen (Rahmanulia et al., 2023). Selain itu, redesain produk yang dilakukan (Mahru Attin, 2023; Nurhayati, 2022) menggunakan metode *Reverse Engineering.* Metode ini dilakukan dengan cara membagikan dan memamerkan produk yang telah ada, untuk kemudian dijadikan dasar dalam merancang produk baru yang memiliki kinerja lebih baik dengan meminimalkan kelemahan dari desain sebelumnya (Delfieco et al., 2023). Metode lain yang juga efektif adalah TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*) dimana (Lofiana T et al., 2022; Romansyah, 2020; Steven Witman, 2021) meggunakan metode TRIZ untuk merancang produk atau sistem baru secara kreatif namun tetap sistematis. TRIZ merupakan salah satu pendekatan yang efektif dalam menyelesaikan konflik desain dan

menghasilkan solusi inovatif terutama dalam redesain suatu produk. TRIZ membantu dalam mengidentifikasi akar masalah serta memilih prinsip solusi yang telah terbukti berhasil di berbagai bidang teknik (Purnomo & Widihandono, 2020). Metode HoQ dan *Reverse Engineering* dapat digunakan sebagai solusi redesain, tetapi lebih terbatas pada pengembangan bertahap dan TRIZ unggul dalam inovasi redesain untuk menyelesaikan masalah teknis. Penggunaan metode TRIZ digunakan untuk mengidentifikasi kontradiksi teknikal dan memetakan solusi melalui 39 parameter dan 40 *inventive principles,* dimana hal ini dibutuhkan dalam perbaikan wadah tanaman yang ingin meningkatkan fungsi dan menghindari risiko yang dapat timbul dari peningkatan fungsi tersebut. Mengidentifikasi kontradiksi dengan analisis faktor *improving features* (peningkatan fungsi) dan faktor *worsening feature* (dampak yang timbul). Hasil dari peningkatan fungsi memiliki konsekuensi yang tidak diinginkan, karenanya menggunakan metode TRIZ mengusahakan peningkatan fungsi tidak mengorbankan aspek penting lain dalam keseluruhan desain. Metode TRIZ dipilih karena wadah tanaman di Arsi Farm Greenhouse memiliki desain yang bertentangan dengan desain wadah tanaman ingin ditingkatkan tanpa mengorbankan aspek penting lainnya, seperti efisiensi air, biaya, ukuran, dan kemudahan penggunaan. Berkaitan dengan ukuran dari wadah tanaman dan kemudahan penggunaan dibutuhkan perhitungan tinggi badan, tinggi siku, lebar bahu, dan jangkauan tangan dari petani untuk itu di perlukan metode yang dapat memastikan desain wadah tanaman ergonomis dan nyaman bagi petani, salah satunya metode Antropometri yang dapat meyesuaikan dimensi alat dengan tubuh pengguna.

Antropometri dipilih karena aspek ergonomi sangat penting bagi petani, sehingga desain harus sesuai dengan dimensi tubuh pengguna. Dalam konteks desain wadah tanaman TRIZ dapat dipadukan dengan pendekatan antropometri guna menyesuaikan dimensi produk dengan postur dan ukuran tubuh petani, sehingga aktivitas pertanian menjadi lebih ergonomis dan nyaman. Seperti penelitian yang dilakukan (Apsari et al., 2022; Prasetyo et al., 2021; Purnomo & Widihandono, 2020) tentang perancangan dan perbaikan produk menggunakan metode TRIZ berdasarkan pendekatan antropometri. Kombinasi metode TRIZ dan pendekatan antropometri memungkinkan solusi teknis, inovatif, ergonomis, sekaligus ekonomis yang lebih sesuai dengan kebutuhan penelitian. Selain dari perancangan wadah tanaman, perlu diperhatikan pemanfaatan air pada sistem penyiraman tanaman yang cukup boros dan bergantung pada aliran listrik. Dimana tumbuhan pada *greenhouse* membutuhkan kelembapan yang cukup untuk memenuhi nutrisi, karenanya perlu penyiraman tanaman di *greenhous* secara berkala.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Lofiana T et al., 2022; Romansyah, 2020; Steven Witman, 2021) sistem irigasi tetes (*drip irrigation*) menjadi solusi yang sesuai untuk mengatasi pemborosan air yang sering terjadi pada sistem irigasi konvensional di *greenhouse*. Teknologi ini mampu menyalurkan air secara perlahan dan tepat sasaran ke daerah akar tanaman, sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien. Selain menghemat air, sistem ini juga menurunkan risiko penyakit tanaman yang disebabkan oleh kelembaban berlebih di area tumbuhnya tanaman.

Integrasi antara desain wadah tanaman yang ergonomis dengan sistem irigasi hemat air berpotensi besar meningkatkan kenyamanan dan efisiensi operasional *greenhouse* agar tanaman tubuh dengan baik. Penelitian ini memiliki urgensi untuk mengatasi pemborosan air dan penyesuaian antropometri pada wadah tanaman di *greenhouse* yang saat ini masih banyak ditemui di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Wadah tanaman di *greenhouse* merupakan komponen penting yang mendukung pertumbuhan tanaman dan kenyamanan petani. Namun, hasil pengamatan di Arsi Farm Greenhouse menunjukkan bahwa wadah yang digunakan masih kaku, boros air, tidak fleksibel, dan tidak ergonomis. Selain itu, penggunaan pipa paralon membuat biaya pembuatan wadah relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan redesain untuk menyesuaikan dimensi tubuh pengguna agar menghasilkan wadah tanaman yang lebih inovatif, ergonomis, dan efisien. Dengan demikian, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Parameter apa saja yang menjadi *improving features* dan *worsening features* dengan menerapkan prinsip inventif TRIZ untuk merancang wadah tanaman di *greenhouse*?
2. Bagaimana penerapan prinsip inventif TRIZ dapat digunakan untuk mendesain wadah tanaman di *greenhouse*?
3. Bagaimana menentukan spesifikasi desain wadah tanaman dengan metode TRIZ?
4. Bagaimana perbedaan parameter wadah tanaman antara desain awal dengan desain hasil redesain?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi *improving features* dan *worsening features* melalui penerapan prinsip inventif TRIZ guna menghasilkan desain wadah tanaman.
2. Mengetahui dan menerapkan prinsip inventif TRIZ dalam mendesain wadah tanaman di *greenhouse*.
3. Mengetahui spesifikasi desain wadah tanaman berdasarkan metode TRIZ.
4. Mengetahui perbedaan parameter wadah tanaman antara desain awal dengan desain hasil redesain.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diperoleh sebagai pihak yang bersangkutan dari dilaksanakannya penelitian yaitu:

1. Bagi Penulis

   Hasil dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan pemahaman penulis tentang metode TRIZ dengan pendekatan antropometri. Serta penerapan redesain dalam perancangan Wadah tanaman dan sistem irigasi yang lebih ergonomis dan efisien.
2. Bagi Pihak Petani

   Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain wadah tanaman di *greenhouse* yang inovatif dan meningkatkan kenyamanan kerja. Selain itu, sistem irigasi yang dirancang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi pemborosan. Sehingga pada akhirnya bermanfaat untuk meningkatkan produktivitas para petani.
3. Bagi Peneliti Selanjutnya

   Harapannya dapat menjadi referensi awal dan acuan dasar pertimbangan bagi penelitian selanjutnya khususnya penelitian mengenai redesain suatu alat ataupun penerapan metode TRIZ dengan pendekatan antropometri.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah berfungsi membatasi apa saja yang menjadi fokus pada penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian dilakukan di satu lokasi *greenhouse* (Arsi farm) yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta.

2. Redesain wadah tanaman dan sistem irigasi di dalam *greenhouse*, tidak mencakup keseluruhan infrastruktur *greenhouse*.
3. Penelitian dilakukan mengguakan metode TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*) dan Antropometri sebagai pendekatan untuk inovasi desain.
4. Hasil akhir penelitian berupa desain konseptual dan model 3D, tanpa pembuatan prototipe dan pengujian wadah tanaman.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari beberapa bab yang nantinya sebagai acuan untuk sistematis dalam penulisan penelitian ini, sistematika penulisan penelitian ini adalah:

BAB I **PENDAHULUAN**

Pada Bab I berisi tentang dasar pemikiran dilakukannya penelitian ini. Mencakup beberapa sub bab yaitu latar belakan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penelitian ini.

BAB II **KAJIAN LITERATUR**

Bagian ini tentang kajian penelitian yang diambil dari jurnal, buku dan literatur yang mendukung dalam penyelesaian penelitian ini. Seperti landasan teori dan penelitian terdahulu.

BAB III **METODE PENELITIAN**

Berisi tentang uraian dari kerangka penelitian, metode yang digunakan, pengumpulan data dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.

BAB IV **PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bagian ini menjelaskan pengumpulan data dengan prosedur yang sudah ditentukan, kemudian diolah sesuai dengan metode yang digunakan. Data tentang Wadah tanaman yang sudah ada sebelumnya akan dianalisis menggunakan metode TRIZ berdasarkan kenyamanan kerja petani *greenhouse,* kemudian hasilnya akan digunakan untuk redesain wadah tanaman pada *greenhouse.*

BAB V	**PEMBAHASAN** Berisi pembahasan mengenai hasil bab sebelumnya. Menganalisis hasil data secara keseluruhan, mendapatkan hasil dari tujuan penelitian yang menjawab rumusan masalah penelitian.
BAB VI	**PENUTUPAN** Bagian penutup membahas tentang rangkuman hasil penelitian yang dilakukan dan saran berdasarkan hasil penelitian. Pembahasan dari kesimpulan menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian secara singkat, berdasarkan analisis dan pembahasan bab sebelumnya. Saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya, berdasarkan realisasi keterbatasan dan peluang pada penelitian ini.
DAFTAR PUSTAKA	Bagian ini memuat sumber literatur yang menjadi rujukan dari penelitian ini, baik berupa jurnal, buku maupun literasi yang menunjang penelitian ini.
LAMPIRAN	Berisi lanpiran daftar tabel, gambar maupun bagian lainnya yang mendukung penelitian.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur berisi jurnal ilmiah mengenai penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian yang dibahas, khususnya tentang perancangan produk, metode TRIZ dan antropometri. Tujuannya untuk mendapatkan gambaran mengenai penelitian yang dilakukan.

Penelitian (Suzianti et al., 2024) yang berjudul "*Redesigning Plastic Beverage Bottle Using Kansei Engineering and* TRIZ" membahas perancangan ulang botol minuman plastik dengan mengintegrasikan Kansei Engineering untuk menangkap preferensi emosional konsumen dan TRIZ sebagai metodologi pemecahan masalah teknis. Penelitian melibatkan data dari 75 responden melalui survei untuk mengidentifikasi kata-kata Kansei yang menggambarkan persepsi konsumen, kemudian menggunakan analisis statistik seperti PCA dan PLS-R untuk menghubungkan preferensi emosional dengan elemen desain botol. Metode TRIZ diterapkan untuk mengatasi masalah teknis seperti keruntuhan botol dan daya rekat label. Hasilnya adalah dua desain botol inovatif, Alpha Prime dan Echo. Menggabungkan kebutuhan emosional konsumen dan solusi teknis, dengan fitur seperti tutup gas-venting, ukuran ergonomis dan label tersegmentasi. Demikian pula penelitian yang dilakukan (Purnomo & Widihandono, 2020; Prasetyo et al., 2021; Apsari et al., 2022; Hung et al., 2024) yang membahas desain atau redesain produk dengan memikirkan kenyamanan, aksesbilitas dan nilai ergonomi suatu produk. Menggunakan pendekatan TRIZ dipadukan dengan Ergonomi, *Axiomatic Design*, ataupun *Kansei Engineering* untuk menghasilkan solusi inovatif yang memprioritaskan kebutuhan, keterbatasan dan keinginan manusia sebagai fokus utama.

Penelitiaan yang berjudul "*Conceptual Digital Twin Modeling Based on an Integrated Five-Dimensional Framework and* TRIZ *Function Model*" yang di susun oleh (Wu et al., 2021) tentang pengembangan sebuah model konseptual *digital twin* untuk kendaraan cerdas dengan menggunakan kerangka kerja lima dimensi dan model fungsi TRIZ yang dimodifikasi. Model ini mencakup entitas fisik, entitas virtual, layanan, modul data dan modul koneksi untuk merepresentasikan hubungan dan interaksi kompleks dalam sistem *digital twin*. Penelitian ini mengidentifikasi dan menganalisis komponen sistem seperti sensor, aktuator dan interaksi dengan lingkungan. Studi kasus pada kendaraan otonom "*Pro-Blue*" digunakan untuk mengilustrasikan penerapan metode ini, menunjukkan bagaimana komponen seperti sensor,

modul keputusan dan lingkungan berinteraksi dalam kerangka *digital twin*. Model akhir yang dihasilkan bertujuan untuk meningkatkan pemahaman, pengendalian, dan optimasi fungsi kendaraan otonom, dengan rencana pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan penerapan model TRIZ pada digital twin. Begitu juga penelitian yang dilakukan oleh (Xu et al., 2024;Dewi et al., 2020; Hoh et al., 2023) yang berfokus pada modifikasi kendaraan atau sistem transportasi agar lebih aman, nyaman dan fungsional. Pendekatan TRIZ digunakan untuk mengatasi kontradiksi desain dalam sistem transportasi seperti pelindung ojek, kendaraan otonom, dan caravan multifungsi.

Penelitian yang dilakukan (Chong et al., 2024) berjudul "*A* TRIZ *Approach for Designing a Smart Lighting and Control System for Classrooms Based on Counter Application with Dual PIR Sensors*" berisi tentang pengembangan sistem kontrol pencahayaan pintar untuk ruang kelas yang menggunakan metodologi TRIZ untuk mengatasi pemborosan energi akibat lampu yang sering lupa dimatikan oleh pengguna. Sistem ini memanfaatkan dua sensor PIR yang dipasang di pintu masuk untuk mendeteksi dan menghitung jumlah orang yang masuk dan keluar ruangan secara akurat dengan menganalisis urutan dan waktu aktivasi sensor. Data jumlah penghuni ditampilkan pada layar LCD dan sistem secara otomatis menghidupkan lampu saat ada orang di dalam ruangan dan mematikannya saat ruangan kosong, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna. Secara keseluruhan, penelitian ini menawarkan solusi inovatif dan praktis untuk penghematan energi di ruang kelas dan ruang bersama lainnya dengan menggunakan prinsip-prinsip TRIZ. Sebagaimana halnya penelitian yang disusun oleh (Wang et al., 2024; Lee et al., 2024) berfokus pada desain produk rumah tangga dengan fitur pintar dan efisiensi energi. TRIZ digunakan bersama AHP, QFD dan *text mining* untuk menyusun solusi berbasis kebutuhan pengguna dan keberlanjutan.

Penelitian yang disusun oleh (Cao et al., 2022) dengan judul "*TRIZ-Based Cause and Effect Chains Analysis vs Root Cause Analysis*" membahas tentang perbandingan dua metode analisis untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah, yaitu Root Cause Analysis (RCA) dan Cause and Effect Chains Analysis (CECA) berbasis prinsip TRIZ. RCA menggunakan alat seperti Five Whys dan Fault Tree Analysis untuk menemukan penyebab dasar masalah, namun memiliki keterbatasan terutama pada sistem yang kompleks karena subjektivitas dan pemahaman sebab-akibat yang tidak lengkap. CECA dikembangkan dalam TRIZ untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan menganalisis penyebab pada tingkat yang lebih dalam, mempertimbangkan batasan sistem dan memastikan rantai sebab-akibat yang komprehensif.

Studi kasus pada pengeboran batu bata berlubang menunjukkan keunggulan CECA dalam mengidentifikasi kekurangan utama dan batasan sistem yang mungkin terlewat oleh RCA. Sama seperti penelitian yang tulis oleh (Jakti & Faritsy, 2024) yang menekankan pada peningkatan kualitas dan efisiensi proses industri dengan mengidentifikasi dan menghilangkan cacat produksi melalui TRIZ, Six Sigma, dan cause-effect chain analysis.

Penelitian yang berfokus pada pengembangan metode atau kerangka berfikir TRIZ seperti "*Time-Space-Direction Extension TRIZ Innovation Model for Product Innovation*" yang disusun oleh (Ren & Yu, 2022) mengusulkan model pemecahan masalah yang menggabungkan teori TRIZ dengan pendekatan ekstensi TSD (*Time-Space-Direction*). Proses pemecahan masalah meliputi analisis sumber daya sistem, fungsi dan rantai sebab-akibat dalam kerangka tiga dimensi, sehingga membuat pemecahan masalah menjadi lebih intuitif dan komprehensif. Studi kasus yang digunakan adalah sistem penanaman dinding cerdas yang menunjukkan efektivitas model ini dalam mengidentifikasi kontradiksi, mengeksplorasi solusi inovatif dan mengintegrasikan berbagai sistem untuk mencapai solusi ideal. Model TRIZ-TSD efektif mengatasi pola pikir tetap, menggali sumber daya tersembunyi, dan sesuai dengan kebiasaan pemecahan masalah intuitif, dengan prospek pengembangan lebih lanjut melalui pemodelan matematis dan penerapan di berbagai bidang.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

Penulis	**Objek (Industri)**		**Metode**		
	Manufaktur	**Agroindustri**	**TRIZ**	**QFD**	**Lainnya**
(Ren & Yu, 2022)		√	√		*Time-Space-Direction* (TSD) *Extension*
(Hung et al., 2024)	√		√	√	
(Hoh et al., 2023)	√		√		CAD *Simulation*
(Wu et al., 2021)	√		√		
(Chong et al., 2024)	√		√		
(Wang et al., 2024)		√	√		AHP
(Xu et al., 2024)	√		√		Kano Model, AHP
(Lee et al., 2024)	√		√	√	
(Cao et al., 2022)	√		√		*Cause and Effect Chains Analysis* (CECA), *Root Cause Analysis* (RCA)
(Purnomo & Widihandono, 2020)	√		√		Antropometri

(Prasetyo et al., 2021)	√		√		
(Apsari et al., 2022)	√		√		*Axiomatic Design*, Antropometri
(Jakti & Faritsy, 2024)	√		√		FMEA, Six Sigma
(Dewi et al., 2020)		√	√	√	
(Suzianti et al., 2024)	√		√		*Kansei Engineering*
Redesain wadah tanaman di *greenhouse* menggunakan metode TRIZ dan pendekatan Antropometri		√	√		Antropometri

Penelitian wadah tanaman termasuk pada kategori Agroindustri dengan menggunakan metode TRIZ dan Antropometri sebagai dasar dari pungumpulan dan pengolahan data yang dilakukan untuk redesain wadah tanaman. TRIZ sebagai metode untuk menyelesaikan masalah teknis dan kontradiksi desain, sedangkan Antropometri digunakan untuk memastikan desain wadah tanaman ergonomis dan nyaman bagi petani. Kombinasi keduanya menghasilkan desain yang lebih fungsional, inovatif, fleksibel, hemat air, dan nyaman digunakan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Greenhouse*

Greenhouse (rumah kaca) adalah sebuah bangunan yang dirancang untuk menciptakan kondisi lingkungan yang terkendali guna mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, terutama dalam menghadapi kondisi iklim yang tidak menentu. Selain itu, *greenhouse* juga berfungsi untuk melindungi tanaman dari gangguan hama, serangan penyakit, serta kondisi lingkungan eksternal yang merugikan (Rayhana et al., 2020).

2.2.2 Wadah Tanaman

Menurut kbbi.kemendikbud.go.id wadah adalah tempat untuk menaruh atau menyimpan sesuatu, dan tanaman adalah tumbuhan yang biasa ditanaman orang, seperti sayuran, buah-buahan dan sebagainya. Secara keseluruhan wadah tanaman adalah tempat atau media buatan yang digunakan untuk menanam tanaman dengan berbagai bentuk dan ukuran, yang berfungsi sebagai penopang media tanam dan sistem perakaran, baik dalam sistem budidaya konvensional maupun modern seperti hidroponik atau *greenhouse*.

2.2.3 Irigasi Tetes

Irigasi tetes adalah sistem pengairan yang memberikan air langsung ke zona perakaran tanaman secara perlahan dan terus menerus dalam bentuk tetesan. Sistem ini dikenal efisien karena mengurangi kehilangan air akibat penguapan dan limpasan, serta cocok digunakan dalam pertanian lahan terbatas, greenhouse, dan daerah kering (Tarigan et al., 2023).

2.2.4 Pengertian Redesain

Redesain berasal dari dua kata dalam bahasa Inggris, yaitu *"re"* yang berarti kembali atau pengulangan, dan *"design"* yang berarti rancangan atau perancangan. Dengan demikian, redesain dapat diartikan sebagai kegiatan merancang ulang. Redesain merupakan proses merancang kembali suatu objek atau produk yang telah ada agar mengalami perubahan, baik dari segi bentuk, fungsi, maupun tampilan (Risky et al., 2023). Dari definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa tujuan proses redesain adalah meningkatkan kenyamanan, menambah nilai guna produk, memperbaiki efisiensi, meningkatkan fungsi, keberlanjutan produk, menyesuaikan dengan kebutuhan yang ada, serta memperkuat daya saing produk di pasar.

2.2.5 Antropometri

Istilah antropometri berasal dari gabungan kata *"anthro"* yang berarti manusia dan *"metri"* yang berarti ukuran. Antropometri merupakan ilmu yang mempelajari pengukuran dimensi tubuh manusia, dimana setiap individu memiliki perbedaan dalam hal bentuk tubuh, ukuran, tinggi badan, lebar tubuh, berat, serta karakteristik fisik lainnya (Santoso et al., 2014). Oleh karena itu, antropometri banyak dimanfaatkan sebagai dasar ergonomi dalam merancang interaksi antara manusia dan lingkungan kerjanya. Data antropometri akan diaplikasikan untuk berbagai bidang, yaitu:

1. Peracangan lingkungan kerja fisik
2. Perancangan produk-produk konsumtif (pakaian, meja, kursi dan lainnya)
3. Perancangan peralatan kerja (mesin, perkakas dan lainya)
4. Perancangan area kerja (*work station*, interior mobil dan lainnya)

Desain alat maupun stasiun kerja yang ergonomis, aman dan nyaman merupakan salah satu tujuan penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang ideal. Untuk itu, desain perlu disesuaikan dengan karakteristik tubuh pengguna agar dapat menunjang produktivitas kerja. Pengukuran dalam antropometri terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

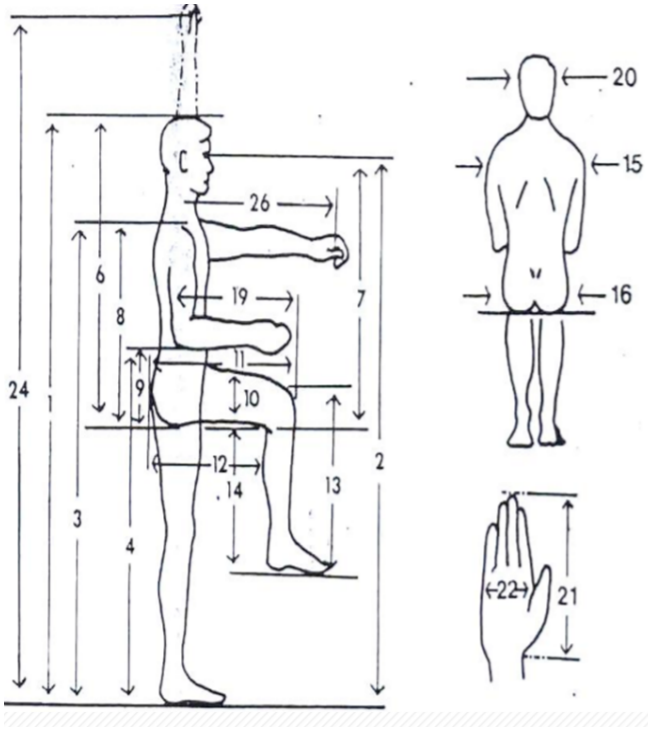
1. Antropometri statis adalah pengukuran yang dilakukan saat tubuh berada dalam keadaan diam atau tidak bergerak.

2. Antropometri dinamis adalah pengukuran yang dilakukan ketika tubuh berada dalam berbagai posisi bergerak, sehingga pengukuran ini lebih kompleks dan lebih sulit dibandingkan dengan pengukuran statis.

Pada penerapannya terdapat tiga prinsip dasar desain ergonomis yang sering digunakan para ahli berdasarkan data antropometri (Freivald & Niebel, 2009), yaitu:

1. Desain untuk ekstrem, yaitu perancangan fasilitas atau tempat kerja yang didasarkan pada data dari individu dengan ukuran tubuh paling ekstrem (baik terbesar maupun terkecil).
2. Desain untuk penyesuaian, yaitu perancangan dimensi peralatan atau fasilitas yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan berbagai pengguna.
3. Desain untuk rata-rata, yaitu pendekatan dengan menggunakan nilai rata-rata data antropometri dalam merancang suatu fasilitas tertentu.

Data antropometri dapat digunakan dalam penentuan dimensi produk yang akan dirancang agar sesuai dengan dimensi tubuh manusia. Gambar 2. 1 menunjukkan dimensi struktur tubuh yang biasanya digunakan dalam merancang suatu produk.



Gambar 2. 1 Dimensi Antropometri Tubuh

(Sumber: www.kidangijo06.blogspot.com)

Keterangan dari Gambar 2. 1 dapat dilihat pada Tabel 2. 2 yang berisi tenang penjelasan singkat

Tabel 2. 2 Keterangan Dimensi Antropometri Tubuh

No	Keterangan
1	Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai sampai dengan ujung kepala)
2	Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak
3	Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak
4	Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus)
5	Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak
6	Tinggi tubuh dalam posisi duduk
7	Tinggi mata dalam posisi duduk
8	Tinggi bahu dalam posisi duduk
9	Tinggi pinggang dalam posisi duduk
10	Tebal atau lebar paha
11	Panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan ujung lutut
12	Panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan belakang dari lutut betis
13	Tinggi lutut yang bisa diukur baik dalam posisi berdiri maupun duduk
14	Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha
15	Lebar dari bahu
16	Lebar pinggul atau pantat
17	Lebar dari dada dalam keadaan membusung
18	Lebar perut
19	Panjang siku dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus
20	Lebar kepala
21	Panjang tangan diukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari
22	Lebar telapak tangan
23	Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar kesamping kiri kanan
24	Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak
25	Tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak
26	Jarak jangkauan tangan yang terjulur ke depan dari bahu sampai ujung jari tangan

Dimensi anggota tubuh perlu diukur untuk menjelaskan data antropometri yang dapat diterapkan pada berbagai desain produk atau lingkungan tempat kerja.

Distribusi normal merupakan distribusi yang paling umum diterapkan pada data antropometri (Nurmianto, 2004). Distribusi normal dalam statistik dapat diketahui dari nilai

rata-rata (x) dan standar deviasi (σ) data. Mengingat variasi yang luas dalam pengukuran tubuh manusia secara individual, maka, pentingnya nilai rata-rata (x) bagi perancang menjadi berkurang. Pertimbangan harus diberikan pada kisaran nilai. Tidaklah praktis untuk mendesain untuk seluruh populasi secara bersamaan. Oleh karena itu, sebagian besar data antropometri disajikan dalam bentuk persentil.

Persentil menunjukkan jumlah bagian per seratus populasi yang memiliki ukuran tubuh tertentu atau nilai yang menunjukkan persentase individu yang memiliki ukuran pada atau di bawah nilai tersebut. Misalnya, persentil pertama dari pengukuran tinggi badan menunjukkan bahwa 99% dari populasi memiliki ukuran yang lebih besar dari 1% populasi yang telah disebutkan sebelumnya. Median, yang merupakan nilai persentil ke-50, adalah nilai yang membagi data menjadi dua bagian yang berisi nilai data terkecil dan terbesar, yang masing-masing menyumbang 50% dari total nilai. Persentil ke-50 memberikan perkiraan yang mendekati ukuran rata-rata kelompok dan cukup sering digunakan sebagai pedoman desain.

2.2.6 TRIZ

TRIZ singkatan dari *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch* dalam bahasa Rusia, ditemukan oleh Genrich Saulovich Altshuller dari Uni Soviet. TRIZ merupakan filosofi, proses, dan rangkaian tool untuk memecahkan suatu masalah terutama pemecahan masalah yang kontradiksi (San et al., 2009). Metode TRIZ merupakan pendekatan sistematis untuk menemukan solusi inovatif bagi masalah teknis maupun non-teknis. Dikembangkan oleh Genrich Altshuller pada tahun 1946, TRIZ menyediakan berbagai alat dan prinsip yang berguna untuk mengenali dan menyelesaikan kontradiksi dalam proses desain dan pengembangan produk (Terninko, 1997). Pendekatan TRIZ menggunakan prinsip-prinsip desain untuk menemukan solusi, dengan fokus pada penghapusan konflik.

2.2.6.1 TRIZ 39 Parameter

Formulasi *trade-off* menjadi metode yang berguna untuk menghapus prinsip-prinsip yang tidak relevan, sebagaimana ditunjukkan oleh matriks kontradiksi pada Tabel 2. 3. Berikut adalah 39 TRIZ parameter yang tealh di tetapkan oleh Altshuller pada buku *Creativity as an Exact Science* yang di terjemahkan oleh Anthony et al., (1988).

Tabel 2. 3 TRIZ 39 Parameter

No	TRIZ 39 Parameter	Penjelasan
1	*Weight of moving object*	Berat objek dalam ruangan memiliki bobot yang sesuai dengan gravitasi di dalamnya. Tenaga yang diperlukan untuk menopang atau menekan objek tersebut ketik bergerak.
2	*Weight of stationary object*	Berat objek dalam ruangan dengan gravitasi standar. Tenaga yang diterapkan untuk menopang atau menekan objek tersebut, baik saat objek tersebut dalam keadaan diam.
3	*Length of moving object*	Salah satu dimensi ukurannya bukanlah yang paling panjang, tetapi memperhitungkan panjangnya pada saat bergerak.
4	*Length of stationary object*	Salah satu dimensi ukurannya bukanlah yang paling panjang, tetapi memperhitungkan panjangnya pada saat diam.
5	*Area of moving object*	Geometri karakteristik yang dijelaskan oleh komponen-komponen suatu objek, termasuk bagian permukaan yang digunakan oleh objek, serta dimensi permukaan yang digunakan baik di dalam maupun di luar objek ketika bergerak.
6	*Area of stationary object*	Geometri karakteristik yang dijelaskan oleh komponen-komponen suatu objek, termasuk bagian permukaan yang digunakan oleh objek, serta dimensi permukaan yang digunakan baik di dalam maupun di luar objek ketika bergerak.
7	*Volume of moving object*	Ukuran volume yang diterapkan pada suatu objek, seperti panjang kali tinggi kali lebar untuk objek kubus, dan tinggi dikali luas lingkaran untuk tabung, serta metode lainnya untuk bentuk-bentuk objek yang berbeda pada saat objek bergerak.
8	*Volume of stationary object*	Ukuran volume yang diterapkan pada suatu objek, seperti panjang kali tinggi kali lebar untuk objek kubus, dan tinggi dikali luas lingkaran untuk tabung, serta metode lainnya untuk bentuk-bentuk objek yang berbeda pada saat objek diam.
9	*Speed*	Kecepatan suatu objek, penilaian proses, atau gerakan dalam interval waktu tertentu.

No	TRIZ 39 Parameter	Penjelasan
10	*Force*	Ukuran gaya yang diterapkan dalam interaksi sistem bervariasi. Dalam konteks fisika Newtonian, gaya diukur dengan mengalikan massa dengan percepatan. Namun, dalam TRIZ, gaya mengacu pada beragam interaksi yang diterapkan untuk mengubah keadaan objek.
11	*Stress of pressure*	Gaya setiap area pada unit dan tegangan.
12	*Shape*	Bentuk dari sebuah objek dari sebuah system.
13	*Stability of the object's composition*	Keseluruhan sistem melibatkan interaksi antara elemen- elemen intinya. Ketahanan melibatkan degradasi kimia dan pembongkaran kekurangan dengan cara yang stabil. Peningkatan entropi mengurangi stabilitas objek.
14	*Strength*	Ketangguhan sebuah objek dalam menghadapi gaya yang berubah-ubah adalah kemampuannya untuk tidak mengalami kerusakan.
15	*Duration of action by a moving object*	Durasi di mana suatu objek beroperasi secara efektif sesuai dengan tujuannya adalah waktu produktif objek. Periode rata-rata antara kegagalan objek adalah indikasi dari lamanya objek dapat berfungsi sebelum mengalami kerusakan, yang juga menunjukkan durabilitasnya pada saat objek bergerak.
16	*Duration of action by a stationary object*	Durasi di mana suatu objek beroperasi secara efektif sesuai dengan tujuannya adalah waktu produktif objek. Periode rata-rata antara kegagalan objek adalah indikasi dari lamanya objek dapat berfungsi sebelum mengalami kerusakan, yang juga menunjukkan durabilitasnya pada saat objek diam.
17	*Temperature*	Kondisi termal dari suatu objek atau sistem, mencakup aspek termal lainnya seperti kapasitas suhu yang dapat mempengaruhi perubahan suhu.
18	*Illumination intensity*	Perubahan yang terjadi secara cepat dan berkelanjutan di setiap wilayah unit juga mencakup karakteristik lain dari sistem pencahayaan, seperti tingkat penjelasan dan kualitas cahaya.

No	TRIZ 39 Parameter	Penjelasan
19	*Use of energy by moving object*	Kapasitas objek untuk menjalankan fungsinya ditentukan oleh ukurannya. Dalam mekanika klasik, energi muncul sebagai hasil interaksi antara gaya, waktu, dan jarak. Ini melibatkan penggunaan energi yang diberikan oleh sistem lain (misalnya, energi listrik atau energi panas). Pengelolaan energi memerlukan perhatian khusus pada saat objek bergerak.
20	*Use of energy by stationary object*	Kapasitas objek untuk menjalankan fungsinya ditentukan oleh ukurannya. Dalam mekanika klasik, energi muncul sebagai hasil interaksi antara gaya, waktu, dan jarak. Ini melibatkan penggunaan energi yang diberikan oleh sistem lain (misalnya, energi listrik atau energi panas). Pengelolaan energi memerlukan perhatian khusus pada saat objek diam.
21	*Power*	Waktu yang dibutuhkan oleh objek untuk menjalankan fungsinya berhubungan dengan jumlah energi yang digunakan.
22	*Loss of energy*	Menggunakan energi yang tidak efisien dalam menyelesaikan tugas merupakan permasalahan yang umum. Lihat poin 19 untuk menemukan solusi yang tepat dalam mengurangi pemborosan energi. Perlu dipisahkan karena membutuhkan teknik yang berbeda dari sekadar improvisasi dalam penggunaan energi.
23	*Loss of substance*	Setengah atau sepenuhnya selesai, permanen atau sementara, menghapus beberapa bahan baku/data dari sistem, bahan, bagian, atau subsistem.
24	*Loss of Information*	Setengah selesai atau selesai, permanen atau sementara, serta penghapusan data atau akses data di dalam sistem secara berulang-ulang, termasuk data yang berkaitan dengan indra manusia seperti bau dan tekstur.
25	*Loss of Time*	Waktu adalah jangka waktu suatu kegiatan. Mengurangi waktu yang terbuang berarti mengurangi waktu yang digunakan untuk melakukan aktivitas.

No	TRIZ 39 Parameter	Penjelasan
26	*Quantity of substance /the matter*	Jumlah dari bahan yang digunakan, bahan baku, bagian, atau subsistem yang dapat diganti secara keseluruhan atau sebagian, baik secara permanen maupun sementara.
27	*Reliability*	Kemampuan sistem untuk beroperasi sesuai dengan harapan yang telah diprediksi, sesuai dengan situasi saat ini.
28	*Measurement accuracy*	Kesamaan antara nilai yang dihasilkan secara matematis dengan nilai sebenarnya dalam dunia nyata dari karakteristik sistem. Mengurangi kesalahan yang terjadi dalam proses pengukuran untuk meningkatkan akurasi.
29	*Manufacturing precision*	Memperluas ciri-ciri aktual yang terdapat dalam sebuah sistem atau perhitungan manufaktur pada objek tertentu atau ciri-ciri permintaan yang sudah ada.
30	*External harm affects the object*	Kekurangan dari sistem dalam mencegah dampak yang timbul dari sumber eksternal yang berpotensi berbahaya.
31	*Object-generated harmful factors*	Efek berbahaya merujuk pada dampak yang mereduksi efisiensi atau kualitas kinerja suatu objek atau sistem. Dampak ini dihasilkan oleh objek atau sistem sebagai bagian dari operasionalnya.
32	*Ease of manufacture*	Tingkat kenyamanan dan kebutuhan energi yang dibutuhkan dalam proses manufaktur atau fabrikasi suatu objek atau sistem.
33	*Ease of operation*	Proses yang memerlukan banyak pekerja, langkah pekerjaan yang rumit, serta alat khusus, sulit untuk dilaksanakan. Proses yang sulit menghasilkan output yang rendah, sedangkan proses yang mudah menghasilkan output yang tinggi; semuanya mudah untuk dikerjakan dengan benar.
34	*Ease of repair*	Ciri-ciri kualitas seperti tingkat kenyamanan, kemudahan penggunaan, kesederhanaan, dan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kesalahan, kerusakan, atau cacat dalam sistem.
35	*Adaptability or versality*	Diperlukan kemampuan sistem atau objek untuk merespons secara positif terhadap perubahan eksternal. Sistem juga harus

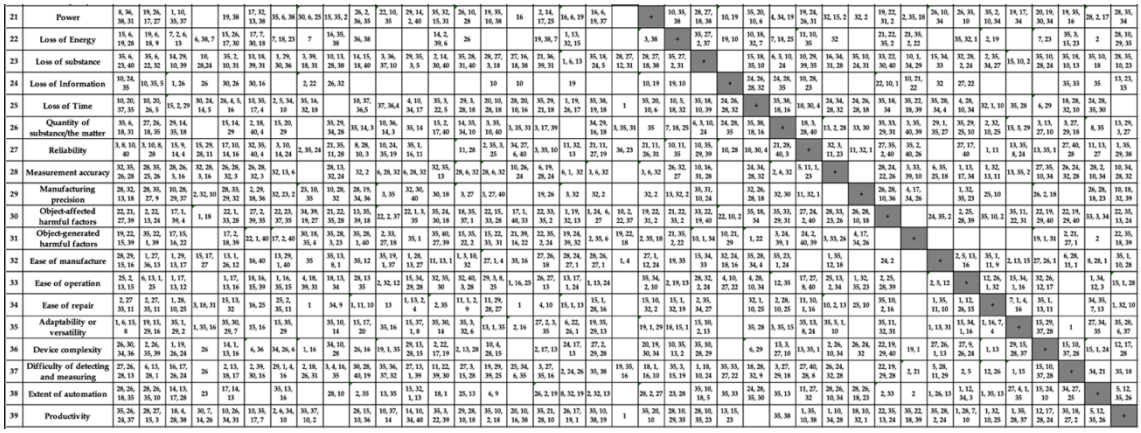
No	TRIZ 39 Parameter	Penjelasan
		dapat beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan yang tidak ideal.
36	*Device complexity*	Jumlah dan variasi elemen serta hubungan timbal balik di antara sistem dapat meningkatkan tingkat kompleksitasnya. Pengguna yang terlibat dalam sistem juga dapat menjadi faktor yang meningkatkan kompleksitasnya. Tingkat kesulitan dalam memahami dan mengendalikan sebuah sistem dapat dijadikan ukuran dari kompleksitasnya.
37	*Difficulty of detecting and measuring*	Mengukur atau mengamati sistem yang rumit dan mahal membutuhkan waktu yang lama serta personel yang terlatih untuk menyiapkan dan menggunakan peralatan tersebut, terutama dalam kasus di mana terdapat hubungan yang kompleks antara komponen atau komponen yang saling memengaruhi. Peningkatan biaya dalam melakukan pengukuran juga menandakan tingkat kesulitan yang meningkat dalam proses pengukuran ketidakpuasan.
38	*Extent of automation*	Perluasan fungsi suatu sistem atau objek tanpa keterlibatan manusia merupakan konsep utama dalam otomatisasi. Pada tingkat paling dasar, otomatisasi melibatkan penggunaan alat operasi manual. Pada tingkat yang lebih maju, program yang dibuat oleh manusia digunakan sebagai alat, yang memantau operasi dan dapat disesuaikan atau diprogram ulang jika diperlukan. Pada tingkat tertinggi, mesin dapat memahami kebutuhan operator, melakukan pemrograman sendiri, dan mengamati serta menyesuaikan operasinya sendiri.
39	*Productivity*	Jumlah fungsi atau kinerja yang dilakukan oleh sistem dalam setiap periode waktu tertentu. Durasi di mana unit melakukan fungsi atau operasi. Hasil atau biaya per unit waktu dari hasil yang dihasilkan.

2.2.6.2 Matriks Kontradiksi TRIZ

Konflik dalam desain yang melibatkan dua parameter kerja, dapat diselesaikan melalui penerapan satu atau lebih dari 40 prinsip inovatif dalam TRIZ. Untuk menggambarkan konflik teknis tersebut secara sistematis, TRIZ mengidentifikasi 39 parameter sistem yang digunakan sebagai dasar analisis (Lu et al., 2022). Langkah – langkah yang harus dilalui untuk mendapatkan hasil pada matriks kontadiksi TRIZ, yaitu:

1. Pilih parameter standar yang paling sesuai dengan karakteristik yang ditingkatkan, serta parameter yang paling mendekati aspek yang perlu dikurangi atau dihilangkan.
2. Cari baris dalam matriks kontradiksi yang mewakili parameter yang ingin ditingkatkan.
3. Temukan kolom dalam matriks yang mewakili parameter yang tidak diinginkan.
4. Pada titik pertemuan antara baris dan kolom tersebut akan tercantum nomor-nomor prinsip inovasi yang direkomendasikan.
5. Pelajari prinsip-prinsip tersebut dari daftar 40 prinsip TRIZ, lalu gunakan sebagai dasar untuk menghasilkan solusi atau ide dalam menyelesaikan permasalahan desain.

Worsening Feature → / Improving Feature ↓		1 Weight of moving object	2 Weight of stationary object	3 Length of moving object	4 Length of stationary object	5 Area of moving object	6 Area of stationary object	7 Volume of moving object	8 Volume of stationary object	9 Speed	10 Force (Intensity)	11 Stress or pressure	12 Shape	13 Stability of the object's	14 Strength	15 Duration of action of moving	16 Duration of action of	17 Temperature	18 Illumination intensity	19 Use of energy by moving object	20 Use of energy by stationary object	21 Power	22 Loss of Energy	23 Loss of Substance	24 Loss of Information	25 Loss of Time	26 Quantity of substance	27 Reliability	28 Measurement accuracy	29 Manufacturing precision	30 Object-affected harmful factors	31 Object generated	32 Ease of manufacture	33 Ease of operation	34 Ease of repair	35 Adaptability or versatility	36 Device complexity	37 Difficulty of detecting and	38 Extent of automation	39 Productivity
1	Weight of moving object	+	-	15, 8, 29,34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35 18, 19	35, 3, 24, 37
3	Length of moving object	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 10, 1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2,14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-		12, 8	6, 28	10, 28, 24, 37	24, 36,	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26	
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	30, 29, 14		29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	13, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 35, 28, 23	10, 26, 34, 2
6	Area of stationary object	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-		-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38		-		17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 26, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8	Volume of stationary object	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-		-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4		-		30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35	1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9	Speed	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 35, 1, 18	6, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2		8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 26, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Force (Intensity)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 38, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 10, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	20, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	3, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11	Stress or pressure	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	3, 35, 38	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12	Shape	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 16, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 13, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13	Stability of the object's composition	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	35, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
14	Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 29, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
15	Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		26, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22		27, 1, 4	12, 27	28, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 20, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
16	Duration of action by stationary object	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-		-	35, 34, 38	-				39, 3, 35, 23		-	+	19, 18, 36, 40		-		16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	
17	Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 35, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	1, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19	19, 35, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19	Use of energy by moving object	12,16,28 ,31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 28	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28		35, 38	32, 2	12, 28, 35
20	Use of energy by stationary object	-	19, 9, 6, 27	-		-		-		-	36, 37			27, 4, 29, 18	35			19, 2, 35, 32	-	+				26, 27, 18, 31			3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6



Gambar 2. 2 Matriks Kontradiksi

(Sumber: https://www.scribd.com/document/334059408/TRIZ-Contradiction-Matrix)

2.2.6.3 TRIZ 40 Invention Principles

Metode TRIZ menggunakan 40 prinsip inventif seperti pada Tabel 2. 4 yang berasal dari analisis lebih dari 40.000 paten penemuan, yang menunjukkan bahwa sebagian besar penemuan dapat dikaitkan dengan penerapan prinsip-prinsip tersebut. Inventive principles ini bertujuan untuk membantu pemikiran kreatif dalam proses perancangan dan membantu dalam mencapai solusi yang tepat. Sebagai bagian dari metode TRIZ ke 40 prinsip ini dirancang untuk menawarkan solusi dalam mengatasi ketidaksesuaian atau kontradiksi yang terjadi antara karakteristik, parameter, dan fungsi teknis, agar dapat digunakan sebagai pertimbangan atau panduan umum dalam penyelesaian masalah rekayasa dan inovasi produk (Chai et al., 2005).

Tabel 2. 4 TRIZ *Inventive Principles*

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
1	*Segmetation*	a. Membagi suatu objek atau sistem menjadi bagian- bagian tersendiri. b. Membuat suatu objek atau sistem mudah untuk membongkar.
2	*Taking Out*	Memisahkan bagian yang mengganggu dari suatu objek/sistem, hanya diperlukan bagian dari suatu objek/sistem.
3	*Local Quality*	a. Mengubah struktur objek atau sistem dari seragam ke nonseragam, perubahan lingkungan eksternal atau pengaruh eksternal dari seragam ke non- seragam.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
		b. Buatlah masing-masing bagian dari suatu objek atau fungsi sistem dalam kondisi yang paling cocok untuk operasi. c. Buatlah masing-masing bagian dari suatu objek atau sistem yang berbeda dan memenuhi fungsi yang berguna.
4	*Asymmetry*	a. Perubahan bentuk suatu objek atau sistem dari simetris dengan asimetris. b. Jika suatu benda atau sistem yang asimetris, tingkatkan derajat asimetris tersebut.
5	*Merging or Combineing*	a. Menggabungkan objek atau sistem yang identik/sama dan menggabungkan bagian yang identik untuk melakukan operasi paralel. b. Membuat operasi bersebelahan atau sejajar dalam waktu yang bersamaan.
6	*Universality*	a. Membuat sebagian objek atau sistem dengan melakukan fungsi ganda untuk menghilangkan kebutuhan pada bagian yang lainnya. b. Menggunakan fitur standar.
7	*Nested Doll*	a. Menempatkan satu objek atau sistem pada gilirannya. b. Membuat satu bagian melewati bagian yang lain.
8	*Antiweight*	a. Untuk menyeimbangkan berat/beban dari suatu objek atau sistem dengan objek atau sistem yang lain. b. Untuk menyeimbangkan berat/beban dari suatu objek atau sistem agar dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitar (misalnya menggunakan aerodinamis, hidrodinamik, daya apung dan kekuatan lainnya).
9	*Preliminary antiaction*	a. Pada saat akan melakukan suatu tindakan diperhitungkan efek baik dan efek buruknya. b. Membuat prototype sebuah objek atau sistem agar dapat menghindari kejadian yang tidak diinginkan kemudian hari.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
10	*Preliminary action*	a. Melakukan tindakan persiapan untuk sebuah objek atau sistem baik lengkap maupun sebagian dari sistem atau objek tersebut. b. Mengatur objek atau sistem sehingga dapat lepas dari zona nyaman tanpa memakan waktu yang cukup lama.
11	*Beforehand cushioning*	Menyiapkan tindakan pengamanan dalam melakukan uji coba dari objek atau sistem.
12	*Equipotentiality*	Pembatasan perubahan kedudukan dari objek atau sistem (misalnya melakukan uji coba dengan menaikan atau menurunkan objek untuk menghilangkan bagian - bagian yang kurang penting).
13	*The other way round*	a. Membalikan tindakan yang digunakan untuk memecahkan masalah. b. Membuat objek bergerak sebagian atau lingkungan sekitar yang tetap dan membiarkan beberapa bagian tersebut tetap bergerak. c. Gerakan objek dengan proses terbalik.
14	*Spheroidality*	a. Menggunakan bagian bujursangkar atau permukaan yang melengkung untuk menggerakan suatu objek dari yang sebelumnya berbentuk kubus atau simetris ke bentuk yang lebih melengkung seperti bola. b. Menggunakan contoh objek yang tidak beraturan (rol, bola, spiral, kubus) c. Menggerakan dari yang tadinya lurus menjadi melingkar menggunakan kekuatan sentrifugal.
15	*Dynamics*	a. Mendesain sifat-sifat sebuah objek, lingkungan sekitar atau prosesnya untuk mencari kondisi yang lebih optimal. b. Membagi suatu objek atau sistem menjadi bagian – bagian yang mampu melakukan kerjasama terhadap satu sama lain.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
		c. Jika suatu objek atau proses kaku atau tidak fleksibel maka objek atau proses tersebut dibuat untuk bergerak agar dapat beradaptasi dengan lingkungan sekitar.
16	*Partial or excessive action*	Apabila nilai sempurna sulit untuk dicapai dengan menggunakan metode yang ada maka dilakukan pelebihan atau pengurangan dengan menggunakan metode yang sama, kemungkinan mendapat nilai sempurna akan lebih mudah.
17	*Another dimensions*	a. Memindahkan objek atau sistem dalam bentuk dua dimensi atau tiga dimensi. b. Menggunakan *multy-story* dalam menyusun objek atau sistem bukan menggunakan *single-story*. c. Re-orientasi dari objek atau sistem. Menggunakan bagian lain dari sebuah objek atau sistem.
18	*Mechanical vibration*	a. Penyebab suatu objek atau sistem untuk berosilasi atau bergetar. b. Meningkatkan frekuensi bahkan sampai ke ultrasonik. c. Gunakan vibrator piezoelektrik yang bukan mekanik. d. Gunakan kombinasi ultrasonik dan osilasi medan elektromagnetik.
19	*Periodic action*	a. Melakukan jeda (periodik). b. Apabila sudah ada jeda, maka perlu diatur besar/ kecil dari masa jeda tersebut. c. Gunakan jeda tersebut untuk melakukan tindakan yang berbeda.
20	*Continuity of useful action*	a. Membiarkan sebuah objek atau sistem bekerja terus menerus dengan menggunakan beban penuh agar mengetahui kelebihan dan kekurangannya. b. Jangan melakukan tindakan pencegahan dalam pelaksanaannya.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
21	*Skipping*	Melakukan tahap-tahap tertentu (misalnya tes kerusakan, tes berbahaya atau tidak) dengan percepatan.
22	*Blessing in disguise*	a. Gunakan faktor bahaya khususnya efek bahaya terhadap lingkungan sekitar untuk mencapai efek yang positif. b. Menghilangkan tindakan utama yang berbahaya dengan mengalihkan tindakan tersebut untuk yang lainnya dalam memecahkan masalah. c. Menghilangkan faktor bahaya sedemikian rupa sehingga tidak berbahaya lagi.
23	*Feedback*	a. Melakukan koreksi (perujukan kembali, pengecekan silang) untuk melakukan perbaikan proses atau mengambil sebuah tindakan. b. Jika sudah menggunakan feedback maka melakukan perubahan besar atau kecil.
24	*Intermediary*	a. Gunakan operator atau proses sebagai perantara. b. Menggabungkan satu objek sementara dengan yang lain (yang dapat dengan mudah dihilangkan).
25	*Self service*	a. Buatlah sebuah objek atau sistem melakukan pelayanan sendiri dengan melakukan fungsi tambahan yaitu membantu. b. Gunakan sumber daya lain.
26	*Copying*	a. Menggunakan objek atau sistem yang sudah tersedia supaya lebih sederhana dan murah. b. Gantikan objek atau sistem dengan proses salinan optik. c. Jika salinan optik sudah digunakan, gunakan inframerah atau ultraviolet eksemplar. d. Salin konsep layanan kreatif di industri yang berbeda.
27	*Cheap short-living objects*	Menggantikan objek atau sistem dengan yang lebih murah dengan mengorbankan kualitas tertentu.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
28	*Mechanics substitution*	a. Mengganti hal yang mekanis dengan perasaan (penglihatan, pendengaran, perasa atau penciuman) yang lebih berarti. b. Gunakan listrik, magnet atau medan elektromagnetik untuk menjalankan objek atau sistem tersebut. c. Perubahan sistem yang tadinya statis menjadi bergerak atau yang tadinya tidak terstruktur menjadi lebih terstruktur. d. Gunakan bersama dengan bidang-bidang yang lain.
29	*Pneumatic and Hidraulics*	Menggunakan bagian yang lain yang tidak ada didalam objek atau sistem. Gunakan part yang intangible dari objek atau sistem disamping part yang tangible.
30	*Flexible shells and thin films*	a. Digunakan untuk struktur 3D. b. Digunakan untuk mengisolasi objek atau sistem dari lingkungan sekitar.
31	*Porous materials*	a. Buat objek atau sistem menggunakan material berpori atau berongga sebagai pelapis. b. Jika suatu objek atau sistem sudah keropos maka gunakan pori-pori tersebut untuk menggantikan fungsi bagian yang keropos tersebut.
32	*Colour changes*	a. Mengubah warna suatu objek atau sistem disesuaikan dengan lingkungan sekitar. b. Mengubah transparansi suatu objek atau sistem.
33	*Homogenity*	Membuat objek atau sistem dapat berinteraksi atau disatukan dengan lingkungan sekitarnya dengan menggunakan bahan yang sama.
34	*Discarding and recovering*	a. Membuat/menghilangkan bagian-bagian dari objek atau sistem atau memodifikasi secara langsung selama operasi. b. Mengembalikan bagian-bagian yang dihilangkan selama operasi berjalan.

40 *Inventive Principles*		
No	**Prinsip**	**Penjelasan**
35	*Parameter changes*	a. Mengubah parameter sebuah objek atau sistem (misalnya untuk gas, cair atau padat). b. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. c. Mengubah tingkat fleksibilitas. d. Mengubah atmosfer untuk pengaturan yang lebih optimal.
36	*Phase transition*	Menggunakan fenomena yang terjadi selama masa transisi (misalnya perubahan volume, proses menghilang atau penyerapan panas).
37	*Thermal expansion*	a. Gunakan ekspansi termal (kontraksi) dari bahan. b. Jika ekspansi termal sudah digunkan, maka gunakan beberapa bahan yang berbeda dengan koefisiensi termal.
38	*Strong oxidants*	a. Mengganti keadaan yang biasa dengan keadaan yang lebih bermasyarakat. b. Meningkatkan partisipasi konsumen dalam pelayanan. c. Keadaan sekitar yang bertahan dari ancaman lingkungan lain. d. Menggunakan keadaan yang lebih baik.
39	*Inert Athmosphere*	a. Menggantikan lingkungan yang normal dengan lingkungan yang netral. b. Menambahkan bagian yang netral kedalam objek atau sistem.
40	*Composite material*	Perubahan terhadap beberapa bahan baku yang digunakan.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sesuatu yang akan menjadi fokus penelitian yang kemudian dikembangkan untuk menjawab permasalahan dan tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Adapun objek penelitian yang akan dikaji pada penelitian ini adalah wadah tanaman di *greenhouse.* Penelitian dilakukan di Arsi farm yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta.

3.2 Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah segala sesuatu yang dapat berupa orang, barang, atau lembaga (*organisasi*) yang keadaannya terkait topik penelitian. Subjek dalam penelitian ini adalah responden berusia 19–24 tahun yang ada di Indonesia. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 50 responden dalam rentang usia tersebut. Kelompok usia ini dipilih sebagai target penelitian karena mewakili generasi muda petani yang menjadi sasaran pengembangan desain berbasis antropometri. Pemilihan subjek ini bertujuan untuk menghasilkan data antropometri yang relevan bagi kebutuhan desain alat dan fasilitas pertanian yang sesuai bagi petani muda. Harapannya semakin banyak generasi muda yang berkeinginan untuk bertani dengan inovasi dari produk wadah tanaman ini.

3.3 Instrumen Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa peralatan bantu untuk menunjang pelaksanaan dalam pengambilan dan pengolahan data, yaitu:

1. Data Dimensi

   Menggunakan data rata-rata dimensi tubuh usia 19–24 tahun yang ada di Indonesia sebagai standar ukuran wadah tanaman.

2. *Website* Triz 40.com

   Website ini digunakan untuk membantu merumuskan solusi bagi setiap kebutuhan yang diidentifikasi, dengan menggunakan *Contradiction Matrix* dari metode TRIZ.

3. *Software* Visual 3D *Solidworks*

   Solidworks merupakan *software* visual 3D yang digunakan untuk melakukan visualisasi design wadah tanaman yang sesuai dengan dimensi tubuh petani.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini memiliki sumber data yang berasal dari data sekunder. Data Sekunder diperoleh melalui perantara, maupun melalui kajian yang dilakukan terhadap dokumen organisasi, buku, jurnal, artikel dan sebagainya. Data sekunder digunakan sebagai penunjang penelitian dan penguat deskripsi-deskripsi kualitatif dalam penelitian.

3.5 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini mengikuti kaidah penggunaan metode TRIZ secara umum dan perhitungan Antropometri.

3.5.1 Pilih masalah teknik

Secara umum suatu sistem memiliki masalah lebih dari satu. TRIZ dapat membantu menyelesaikan kontradiksi dua masalah teknis. Kontradiksi teknik adalah konflik antara dua hal dari sebuah sistem, seperti bila ingin meningkatkan suatu hal dalam sebuah sistem akan tetapi hal tersebut berdampak negatif terhadap hal lainya.

3.5.2 Merumuskan kontradiksi

Identifikasi masalah apa yang terjadi dan menentukan *improving feature* serta *worsening features* untuk setiap masalah. Keberhasilan menentukan masalah tersebut akan menunjukkan inti masalah dari suatu sistem yang akan diperbaiki.

3.5.3 Menentukan *inventif principles*

Dari solusi-solusi yang ditawarkan akan dipilih solusi terbaik, sehingga solusi yang didapatkan merupakan solusi yang paling sesuai dengan permasalahan yang dihadapi.

3.5.4 Perhitungan Antropometri

Perhitungan antropometri menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial. Tujuanya untuk mendapatkan gambaran distribusi data, serta memastikan bahwa data yang digunakan bersifat normal dan representatif (mewakili populasi) sebagai dasar perancangan produk. Berdasarkan (Banjarnahor, 2019) langkah-langkah metode statistik adalah:

a. Pengukuran dimensi tubuh

   Pengumpulan data dilakukan dengan data responden yang sudah ada.

b. Uji Normalitas Data

Uji normalitas merupakan uji statistik untuk melihat sebaran kelompok data yang memiliki distribusi normal atau tidak. Metode yang digunakan dalam uji ini adalah *Kolmogorov-Smirnov.* Menentukan hipotesis yang dimiliki untuk diuji, dengan cara sebagai berikut:

- H0 = nilai skor berdistribusi normal
- H1 = nilai skor tidak berdistribusi normal

Menentukan parameter pengujian sebagai dasar pengambilan keputusan, dengan cara sebagai berikut:

- Jika nilai probabilitas $(\alpha) > 0{,}05$ maka H0 diterima
- Jika nilai probabilitas $(\alpha) < 0{,}05$ maka H0 ditolak

c. Menentukan nilai rata-rata (mean)

Nilai rata-rata digunakan sebagai indikator sentral data, dihitung dengan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum(xi)}{n}$$

d. Menentukan standart deviasi (SD)

Standar deviasi mengukur sebaran data terhadap rata-rata, dihitung dengan:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Keterangan:

$\bar{X}$: mean (rata-rata sampel) xi : ukuran dimensi tubuh untuk sampel ke-i

SD : standar deviasi n : jumlah sampel

e. Perhitungan persentil

Untuk menentukan nilai persentil terbagi menjadi tiga:

P (5) = M + Z (Sd) … Z = -1,64 (ukuran data terendah)

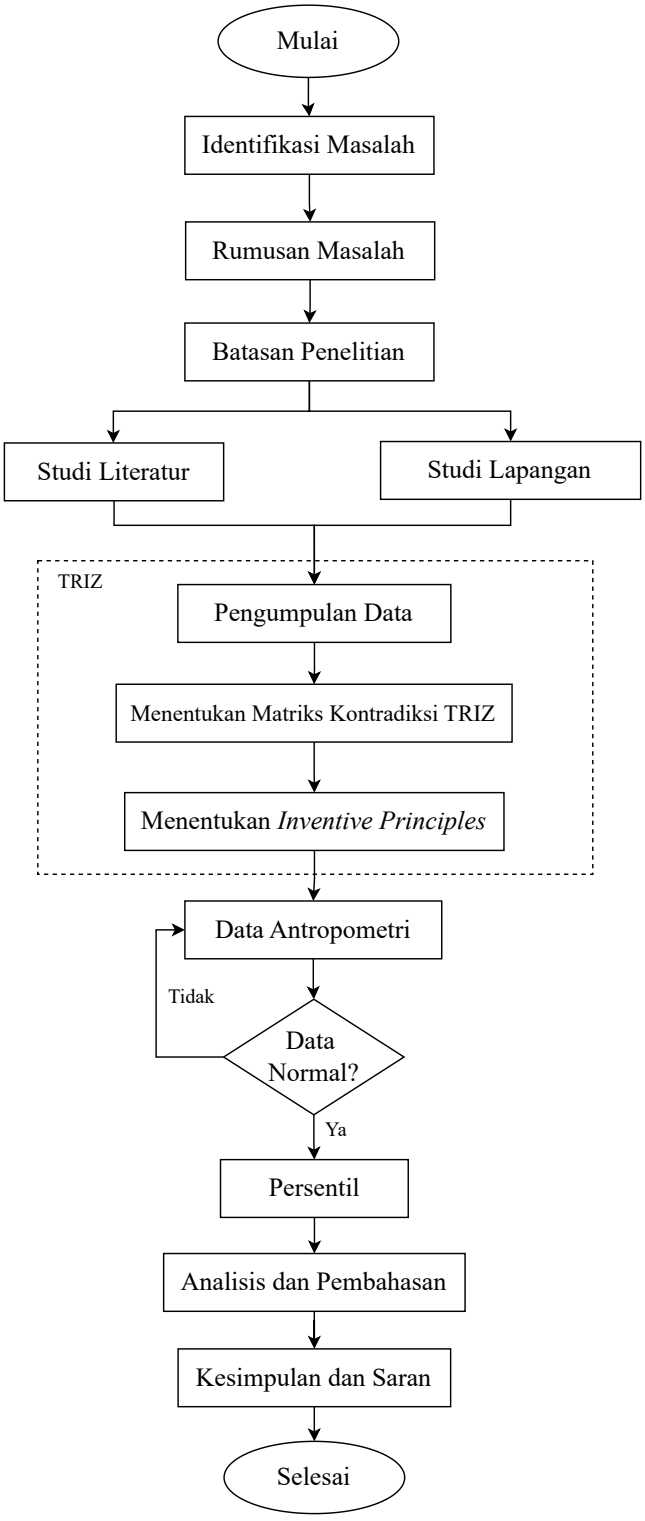
P (50) = M + Z (Sd) … Z = 0

P (95) = M + Z (Sd) … Z = +1,64 (ukuran data tertinggi)

Pada perhitungan wadah tanaman di *greenhouse* menggunaka persentil 50 (median) untuk menetapkan dimensi desain karena nilai ini mewakili ukuran rata-rata pengguna, sehingga desain yang dihasilkan dapat sesuai untuk sebagian besar populasi target tanpa menimbulkan ketidaknyamanan ekstrem baik bagi pengguna bertubuh kecil maupun besar.

3.6 Alur Penelitian

Alur penelitian bertujuan untuk menjabarkan langkah-langkah peneliti dalam mengembangkan dan merancangan penelitian ini dari awal hingga akhir.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Penjelasan dari alur penelitian pada Gambar 3. 1 sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

   Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi permasalahan yang terjadi di lapangan atau objek penelitian. Identifikasi dilakukan dengan mengamati kondisi lapangan dan mengaitkannya dengan teori atau kebutuhan pengguna. Perlu dilakukannya analisis yang lebih mendalam terhadap masalah yang terjadi pada wadah tanaman di *greenhouse* yang sudah ada. Hal ini bertujuan untuk merumuskan secara jelas tujuan penelitian yang ingin dicapai, serta mengidentifikasi area yang membutuhkan perbaikan atau inovasi

2. Rumusan masalah

   Berdasarkan hasil identifikasi, dirumuskan pertanyaan-pertanyaan penelitian yang akan dijawab melalui proses penelitian. Terutama pada wadah tanaman di *greenhouse* akan muncul beberapa pertanyaan yang harus dijawab pada tujuan penelitian.

3. Batasan penelitian

   Penelitian dibatasi hanya pada aspek desain wadah tanaman, dengan fokus pada efisiensi penggunaan ruang dan kenyamanan pengguna (petani/pengelola).

4. Studi literatur dan studi lapangan

   - Studi Literatur: Peneliti mengkaji teori-teori yang mendasari metode TRIZ, prinsip-prinsip antropometri, serta penelitian terdahulu terkait desain produk.
   - Studi Lapangan: Observasi langsung dan wawancara dilakukan untuk melihat kondisi wadah tanaman di *greenhouse*.

5. Pengumpulan data

   Pengumpulan data berdasarkan metode TRIZ bertujuan untuk mengidentifikasi kontradiksi teknis yang terdapat pada desain wadah tanaman di greenhouse. Data yang dikumpulkan akan digunakan sebagai dasar dalam menentukan parameter-parameter teknis yang relevan dan merumuskan solusi inovatif melalui prinsip-prinsip inventif TRIZ. Langkah-langkahnya meliputi:

   - Pemilihan masalah teknik
   - Merumusan kontradiksi
   - Menentukan solusi-solusi terbaik
   - Menganalisis solusi

6. Menentukan matriks kontradiksi TRIZ

   Tahapan ini melibatkan pemetaan parameter teknis yang bertentangan, seperti “kemudahan penggunaan” versus “kompleksitas desain”. Matriks kontradiksi TRIZ digunakan untuk mendapatkan rekomendasi prinsip inventif sebagai solusi. Langkah-langkahnya meliputi:

   - Pemilihan parameter yang ditingkatkan dan dikurangi
   - Temukan baris parameter yang ditingkatkan
   - Temukan kolom parameter yang dikurangi
   - Identifikasi prinsip dari titik temu matriks

7. Menentukan *inventif principles*

   Penemuan prinsip-prinsip inovatif ini berasal dari akar masalah yang timbul di wadah tanaman dengan mencari fitur-fitur yang dapat ditingkatkan dan diperburuk sehingga prinsip-prinsip inovatif dan solusi-solusi yang diusulkan dapat ditemukan melalui matriks kontradiksi TRIZ. Solusi terbaik atau paling cocok dengan masalah yang dihadapi kemudian diidentifikasi.

8. Data Antropometri

   Pengumpulan data fisik tubuh manusia yang relevan dengan objek penelitian.

9. Uji Normalitas Data

   Setelah data terkumpul, perlu dilakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data terdistribusi secara normal.

10. Persentil

    Persentil digunakan untuk menentukan batas ukuran desain yang sesuai dengan sebagian besar populasi.

11. Analisis dan pembahasan

    Tahapan ini mencakup nalisis terhadap hasil desain yang telah diusulkan. Peneliti membandingkan kondisi sebelum dan sesudah redesain, serta mengevaluasi sejauh mana prinsip TRIZ dan antropometri memberikan nilai tambah dalam desain.

12. Kesimpulan dan saran

    Kesimpulan penelitian ini merangkum hasil dari seluruh proses penelitian yang telah dilaksanakan. Kesimpulan ini merupakan jawaban atas tujuan dan rumusan masalah yang telah ditetapkan sejak awal penelitian, serta memberikan saran untuk implementasi desain maupun penelitian lanjutan.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Observasi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan

Observasi lapangan dilakukan di Arsi Farm Greenhouse Yogayakarta, dari hasil observasi dan wawancara, ditemkan beberapa masalah utama:

- Penataan wadah kurang fleksibel terhadap lahan terbatas.
- Sistem irigasi menyebabkan penggunaan air berlebihan dan menggenang.
- Wadah tanaman kurang ergonomis, memaksa petani membungkuk.

4.1.2 Data Antropometri

Data antrpometri dalam penelitian ini menggunakan responden berusia 19–24 tahun yang ada di Indonesia. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 50 responden dalam rentang usia tersebut. Data antropometri dari 50 responden berusia 19-24 tahun dapat dilihat pada Tabel 4. 1 Data Antropometri.

Tabel 4. 1 Data Antropometri

No	Nama	Jenis Kelamin	Usia	TB	JT	TS	LB
1	Teuku Rifki Z	L	22	175	72,5	112	46
2	Haryda Yogi Septia	L	20	174	80	115	41
3	Roy Rizki Bugiawan	L	21	170,5	78	106,5	42,8
4	Agung Budi Hartono	L	19	175	71,5	112,5	43
5	Ichsan Hndri Dwi P	L	20	170	73	106	36
6	Adya Bagus	L	23	177	77	110	47
7	Galih	L	21	174	78,5	108	41,7
8	Herdy Juni Ansyah	L	20	169,5	76,5	108,5	44
9	Ikhsan H.	L	20	170	77,5	103,5	44,2
10	Yohan Arya Prasetya	L	20	173,5	80	110	45,7
11	Dodi Sumardi	L	21	170,5	79	110,3	42,3
12	Fantomy Eka Agaskara	L	20	172,6	76,5	108	40,2
13	Shofa Reza Chusnufan	L	21	175	80	101,5	46
14	Hendi Dwi Pramadhan	L	21	170	74	102,5	42
15	Aditya Murti Aji Prakoso	L	20	174	76	105	41,2
16	Dwi Eka Purnomo Sari	L	20	171	77,7	105,8	39

No	Nama	Jenis Kelamin	Usia	TB	JT	TS	LB
17	Catur Hermawanto	L	20	171	76	101	40
18	Albert Sitompul	L	20	172	78,5	102	41
19	Pepi Yuareda	L	20	172	79,5	102	47
20	Fandi Ahmad	L	20	170	75,5	106	39
21	Fakhri Fadlan	L	21	171	78	108	45
22	Galih Tri Nugroho	L	21	168	79,5	103	41,4
23	Cahyo Atmawan	L	21	171	74	102	47
24	adrian arif	L	21	169,5	76,5	104	42,5
25	Hendita Sulistyawan	L	21	169	77	102,5	43,3
26	Gunawa tri nugroho	L	22	171	75	107	44,8
27	tri apri yudianto	L	21	168	79,5	104,5	44
28	arya sidhi pramana	L	22	173,5	80	113,5	46,5
29	Burhanudin Ranggasah	L	19	169	78,5	107,5	37,5
30	Eko Nugraha	L	22	175	80	113,5	47
31	Muhammad Hartanto	L	22	174,5	80	105,5	42,9
32	Wiwit F. Kusuma	L	23	167,5	74	103	42,3
33	Krishna Apriatmaja	L	23	164,5	77,5	100	40
34	Sonny Tri Nugraha	L	23	172,5	75	105	41
35	Albizar Ramadhandi	L	24	163	76	104	42,2
36	Nungki Ifham	P	21	160,5	76,5	100,5	43
37	Hendia Ventri	P	20	161	71,5	101,2	47
38	Amalia Ramadana M	P	20	165	78,5	106	40
39	Diyah Ratna Wahyuningsih	P	20	166,5	80	109	41
40	Vivialita Septiani Puteri	P	20	164,5	79,2	103,5	40,5
41	Octaviana P.	P	21	160,5	78	100,5	37
42	Atlit Aristriandani	P	21	162,3	70,5	102	38,4
43	Arfiana Fajar	P	21	168	73,5	100,5	37,5
44	Karenina Maharani	P	20	178	71,5	100	39,2
45	noviana dwi harsiwi	P	20	163,5	77	105,5	38
46	yuana	P	22	165	76,5	100,5	39
47	Paramitha F	P	21	172	77	110,5	43,7
48	Aldiani Puspasari	P	19	162	75	105,7	38
49	Indri Astuti	P	20	169	74	110	37,1

No	Nama	Jenis Kelamin	Usia	TB	JT	TS	LB
50	Roro Ismi M P	P	19	167	78,5	100,5	37

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Analisis Produk Sebelumnya

Wadah tanaman di *greenhouse* sebelumnya menggunakan pippa paralon (PVC) yang dilubangi sebagai tempat tumbuh tanaman. Gambar 4. 1 Wadah Tanaman Sebelumnya wadah tanaman sebelumnya yang akan dianalisis untuk dilakukan redesain.

Gambar 4. 1 Wadah Tanaman Sebelumnya

Spesifikasi produk sebelumnya berdasarkan kondisi nyata adalah:

1. Bahan dan bentuk
   - Menggunakan pipa paralon (PVC)
   - Wadah tanaman disusun secara horizontal
   - Penyangga berupa kayu
2. dimensi dan kapasitas
   - Panjang pipa 2 – 3 meter per unit dengan diameter 10 – 15 cm
   - Lubang tanam dibuat pada bagian atas pipa dengan jarak 30 – 40 cm pertanaman
   - Ketinggian vertikal wadah tanaman 45 – 50 cm

3. Sistem irigasi

Air penyiraman langsung dialirkan ke pipa paralon secara kontinyu menggunakan pompa.

4.2.2 *Model of Problem*

Tahapan *model of problem* seperti pada Tabel 4. 2 adalah langkah yang digunakan untuk merumuskan dan memahami permasalahan yang dihadapi. Pada tahap ini, permasalahan diklasifikasikan menjadi kelompok *inventive problem* dan *normal problem*. *Inventive problem* memerlukan solusi inovatif karena adanya kontradiksi teknikal yang saling bertentangan. Sebaliknya, *normal problem* dapat diselesaikan dengan metode konvensional tanpa perlu mengatasi kontradiksi yang rumit. *Engineering contradiction* muncul ketika dua parameter teknik bertolak belakang, sehingga dibutuhkan pendekatan kreatif untuk mengatasinya.

Tabel 4. 2 *Model of Problem*

No	Atribut	Akar Masalah	Identifikasi	Model Penyelesaian
1	Modular fleksibel	Desain pipa paralon yang digunakan sebelumnya bersifat tetap dan hanya bisa digunakan oleh beberapa tanaman yang identik, sehingga beberapa jenis tanaman yang memiliki kebutuhan kedalaman akar dan jarak tanaman yang berbeda tidak dapat menggunakan wadah tanaman yang sama.	*Inventive problem*	*Engineering contradiction*
2	Hemat air	Sistem irigasi terbuka menyebabkan air yang mengalir mengalami penguapan lebih cepat dan pengaturan debit air yang digunakan tidak merata pada setiap tanamannya, sehingga beberapa tanaman menadapatkan kelebihan air dan lainnya kekurangan.	*Inventive problem*	*Engineering contradiction*
3	Tempat penampungan	Wadah tanaman sebelumnya tidak memiliki tempat penampungan tanah dan cadangan air. Tidak adanya	*Inventive problem*	*Engineering contradiction*

No	Atribut	Akar Masalah	Identifikasi	Model Penyelesaian
	tanah dan cadangan air	tempat untuk tanah di wadah tanaman menyebabkan petani saat panen harus mengganti dan membersihkan wadah tanaman secara menyeluruh setiap akan menanam kembali tanaman yang baru. Air irigasi yang disiramkan ke tanaman sering kali terbuang percuma keluar dari pipa paralon sebelum terserap secara maksimal oleh tanaman.		
4	Ketinggian ergonomis	Ketinggian wadah tanaman tidak disesuaikan dengan tinggi tubuh petani, menyebabkan petani harus membungkuk atau jongkok dalam waktu yang lama saat melakukan perawatan tanaman.	*Inventive problem*	*Engineering contradiction*
5	Bahan lebih hemat	Pengguaan material sebelumnya membutuhkan biaya yang tinggi. Petani harus membeli bahan-bahan seperti pipa paralon dalam jumlah yang cukup banyak.	*Inventive problem*	*Engineering contradiction*

4.2.3 Analisis Kontradiksi

Tahap analisis kontradiksi seperti pada Tabel 4. 3 untuk mengidentifikasi fungsi-fungsi yang ingin ditingkatkan dan memahami kemungkinan dampak yang timbul akibat dari peningkatan.

Tabel 4. 3 Analisis Kontradiksi

Atribut	Peningkatan Fungsi	Dampak yang Timbul
Modular fleksibel (S1)	Wadah dirancang dengan beberapa unit atau bagian terpisah agar tanaman bisa dipindahkan	Wadah tanaman yang terpisah-pisah strukturnya tidak sekuat desain yang permanen. Beresiko

Atribut	Peningkatan Fungsi	Dampak yang Timbul
	tanpa mengganggu tanaman lain. Fleksibel untuk digunakan oleh beberapa jenis tanaman.	menurunkan tingkat stabilitas wadah tanaman jika ditumpuk secara vertikal.
Hemat air (S2)	Memaksimalkan pemakaian dan distribusi air untuk tanaman, sehingga tanaman tidak kekurangan air karena evaporasi ataupun kelebihan air.	Membuat sistem irigasi agar lebih hemat dapat berdampak pada kerumitan aliran air dibandingkan irigasi biasa yang dialirkan secara datar.
Tempat penampungan tanah dan cadangan air (S3)	Adanya tempat tanah membuat petani tidak perlu melakukan pembersihan secara menyeluruh saat melakukan pergantian tanaman yang baru. Dan adanya tempat menyimpan air cadangan untuk irigasi hemat dan kontinu.	Penambahan tempat penampungan tanah dan penempungan air mempengaruhi bentuk wadah tanaman menjadi lebih besar. Beresiko memakan tempat yang banyak karena membutuhkan tempat terpisah untuk tanah dan cadangan air.
Ketinggian ergonomis (S4)	Menyesuaikan tinggi wadah tanaman dengan rata-rata dimensi tubuh petani, sehingga petani tidak perlu lagi membungkuk atau berjongkok saat melakukan perawatan tanaman.	Penyesuaian tinggi dan posisi wadah tanaman menambah ukuran secara vertikal ke atas menyebabkan wadah kurang stabil.
Bahan lebih hemat (S5)	Menggunakan bahan daur ulang yang lebih murah, memungkinkan petani tidak mengelurkan biaya terlalu besar.	Penggunaan bahan yang lebih hemat dapat membuat kenyamanan penggunaan dan operasional menurun, seperti bentuk potongan bisa kurang simetris dan bahan yang lebih hemat tidak memiliki fitur atau kualitas yang sama seperti bahan sebelumnya.

4.2.4 *Improving Features*

Tahapan *improving features* untuk menentukan parameter setiap peningkatan fungsi berdasarkan atribut-atribut yang ditetapkan dalam perancangan. Proses ini bertujua unuk mengidentifikasi aspek-aspek spesifik yang perlu ditingkatkan guna mencapai tujuan desain. analisis fitur peningkatan dalam perancangan wadah tanaman dapat dilihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 *Improving Features*

Atribut	**Peningkatan Fungsi**	***Improving Features***
Modular fleksibel (S1)	Wadah dirancang dengan beberapa unit atau bagian terpisah agar tanaman bisa dipindahkan tanpa mengganggu tanaman lain. Fleksibel untuk digunakan oleh beberapa jenis tanaman.	(35) *Adaptability or versality*
Hemat air (S2)	Memaksimalkan pemakaian dan distribusi air untuk tanaman, sehingga tanaman tidak kekurangan air karena evaporasi ataupun kelebihan air.	(22) *Loss of energy*
Tempat penampungan tanah dan cadangan air (S3)	Adanya tempat tanah membuat petani tidak perlu melakukan pembersihan secara menyeluruh saat melakukan pergantian tanaman yang baru. Dan adanya tempat menyimpan air cadangan untuk irigasi hemat dan kontinu.	(36) *Device Complexity*
Ketinggian ergonomis (S4)	Menyesuaikan tinggi wadah tanaman dengan rata-rata dimensi tubuh petani, sehingga petani tidak perlu lagi membungkuk atau berjongkok saat melakukan perawatan tanaman.	(33) *Ease of operation*
Bahan lebih hemat (S5)	Menggunakan bahan daur ulang yang lebih murah, memungkinkan petani tidak mengelurkan biaya terlalu besar.	(26) *Quantity of substance/the matter*

4.2.5 *Worsening Features*

Tahap analisis *worsening feature* seperti pada Tabel 4. 5 dilakukan dengan mengidentifikasi parameter yang mewakili potensi dampak negatif. Tujuannya untuk memahami konsekuensi yang mungkin tidak diinginkan, agar dapat dicegah atau diminimalkan. Dengan demikian, upaya peningkatan fungsi tidak mengorbankan aspek penting lain dalam keseluruhan desain.

Tabel 4. 5 *worsening feature*

Atribut	**Dampak yang Timbul**	***Worsening Feature***
Modular fleksibel (S1)	Wadah tanaman yang terpisah-pisah strukturnya tidak sekuat desain yang permanen. Beresiko menurunkan tingkat stabilitas wadah tanaman jika ditumpuk secara vertikal.	(13) *Stability of the object's composition*
Hemat air (S2)	Membuat sistem irigasi agar lebih hemat dapat berdampak pada kerumitan aliran air dibandingkan irigasi biasa yang dialirkan secara datar.	(36) *Device complexity*
Tempat penampungan tanah dan cadangan air (S3)	Penambahan tempat penampungan tanah dan penempungan air mempengaruhi bentuk wadah tanaman menjadi lebih besar. Beresiko memakan tempat yang banyak karena membutuhkan tempat terpisah untuk tanah dan cadangan air.	(12) *Shape*
Ketinggian ergonomis (S4)	Penyesuaian tinggi dan posisi wadah tanaman menambah ukuran secara vertikal ke atas menyebabkan wadah kurang stabil.	(13) *Stability of the object's composition*
Bahan lebih hemat (S5)	Penggunaan bahan yang lebih hemat dapat membuat kenyamanan penggunaan dan operasional menurun, seperti bentuk potongan bisa kurang simetris dan bahan yang lebih hemat tidak memiliki fitur atau kualitas yang sama seperti bahan sebelumnya.	(33) *Ease of operation*

4.2.6 Analisis Matriks Kontradiksi

Pada tahap ini, mencari kontradiksi antara *improving feature* dan *worsening feature* yang berasal dari atribut perancangan ditentukan. Matriks kontradiksi kemudian digunakan untuk menghasilkan beberapa *inventive principles*, yang akan menjadi dasar dalam menyelesaikan masalah desain. Setiap *inventive principle* akan dianalisis secara mendalam, diikuti dengan proses *trial and error* untuk menemukan solusi yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik wadah tanaman. Analisis matriks kontradiksi wadah tanaman dapat dilihat pada Tabel 4. 6.

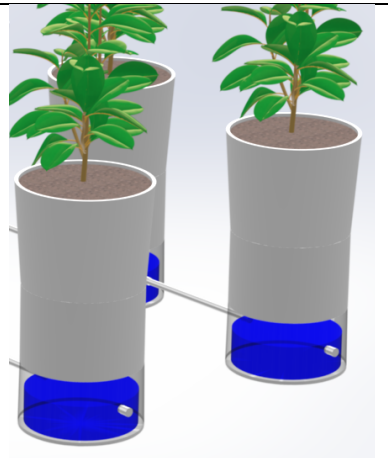
Tabel 4. 6 Matriks Kontradiksi

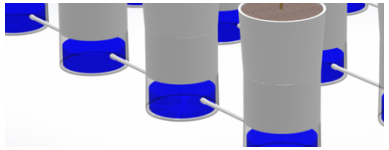
Atribut	***Improving Features***	***Worsening Feature***	***Inventive Principles***
Modular fleksibel (S1)	(35) *Adaptability or versality*	(13) *Stability of the object's composition*	**(35) *Parameter changes*** (30) *Flexible shells and thin films* (14) *Spheroidality*
Hemat air (S2)	(22) *Loss of energy*	(36) *Device complexity*	**(7) *Nested Doll*** **(23) *Feedback***
Tempat penampungan tanah dan cadangan air (S3)	(36) *Device Complexity*	(12) *Shape*	(29) *Pneumatic and Hidraulics* **(13) *The other way round*** (28) *Mechanics substitution* (15) *Dynamics*
Ketinggian ergonomis (S4)	(33) *Ease of operation*	(13) *Stability of the object's composition*	(32) *Colour changes* **(35) *Parameter changes*** (30) *Flexible shells and thin films*
Bahan lebih hemat (S5)	(26) *Quantity of substance/the matter*	(33) *Ease of operation*	(35) *Parameter changes* (29) *Pneumatic and Hidraulics* **(25) *Self service*** (10) *Preliminary action*

4.2.7 *Inventive Principles*

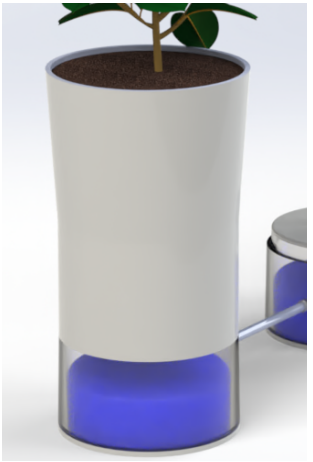
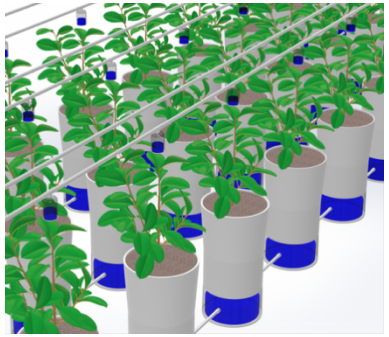
Inventive principles adalah tahapan untuk mengidentifikasi solusi spesifik yang dihasilkan dari kontradiksi antara parameter peningkatan (*improving feature)* dan penurunan *(worsening feature).* Setelah didapatkan alternatif solusi melalui *inventive principles* berdasarkan kotradiksi antara paremeter peningkatan dan penurunan, selanjutnya adalah memilih dan menetapkan prinsip serta alternatif yang paling sesuai ke dalam spesifikasi desain parameter dan solusi yang dikembangkan. Tabel 4. 7 merupakan solusi dari hasil identifikasi *inventive principles* wadah tanaman di *greenhouse.*

Tabel 4. 7 *Inventive Principles*

Atribut	**Spesific Inventive Principles**	**Deskripsi**	**Penerapan pada Rancangan**	**Desain Virtual**
Modular fleksibel (S1)	(35) *Parameter changes*	a. Mengubah parameter sebuah objek atau sistem (misalnya untuk gas, cair atau padat). b. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. c. Mengubah tingkat fleksibilitas. d. Mengubah atmosfer untuk pengaturan yang lebih optimal.	Wadah dirancang dengan beberapa unit atau bagian terpisah yang bisa dilepas pasang (modular). Modul bisa dipasang/ditumpuk/dilepas sesuai jumlah tanaman atau kebutuhan (fleksibel dalam pengaturan).	

Atribut	Spesific Inventive Principles	Deskripsi	Penerapan pada Rancangan	Desain Virtual
Hemat air (S2)	(7) *Nested Doll*	a. Menempatkan satu objek atau sistem pada gilirannya. b. Membuat satu bagian melewati bagian yang lain.	Pada saluran irigasi menggunakan pipa paralon yang tertutup, dan menambahkan pipa penghubung untuk menghubungkan penampungan air satu dengan yang lainnya. Sistem irigasi menggunakan irigasi tetes untuk memaksimalkan penggunan air langsung menetes pada tanaman. Wadah tanaman bisa menyimpan, mendaur ulang dan mengatur suplai air agar lebih hemat.	
	(23) *Feedback*	a. Melakukan koreksi (perujukan kembali, pengecekan silang) untuk melakukan perbaikan proses atau mengambil sebuah tindakan. b. Jika sudah menggunakan feedback maka melakukan perubahan besar atau kecil		

Atribut	Spesific Inventive Principles	Deskripsi	Penerapan pada Rancangan	Desain Virtual
Tempat penampungan tanah dan cadangan air (S3)	(13) *The other way round*	a. Membalikan tindakan yang digunakan untuk memecahkan masalah. b. Membuat objek bergerak sebagian atau lingkungan sekitar yang tetap dan membiarkan beberapa bagian tersebut tetap bergerak. c. Gerakan objek dengan proses terbalik.	Wadah tanaman memiliki dua bagian atas untuk tanah, bagian bawah untuk cadangan air. Tanah atau media tumbuhnya tanaman tidak perlu diganti setiap ada perubahan tanaman. Biasanya air keluar dari wadah, dibalik menjadi wadah yang menampung kembali kelebihan air dari proses penyiraman.	

Atribut	Spesific Inventive Principles	Deskripsi	Penerapan pada Rancangan	Desain Virtual
Ketinggian ergonomis (S4)	(35) *Parameter changes*	a. Mengubah parameter sebuah objek atau sistem (misalnya untuk gas, cair atau padat). b. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. c. Mengubah tingkat fleksibilitas. d. Mengubah atmosfer untuk pengaturan yang lebih optimal.	Mengubah ketinggian wadah taman sesuai perhitungan antropometri. Sebelumnya ketinggian wadah tanaman hanya setinggi lutut, kemudian dibuat agar tingginya sesuai dengan jangkauan tangan petani saat berdiri.	
Bahan lebih hemat (S5)	(25) *Self service*	a. Buatlah sebuah objek atau sistem melakukan pelayanan sendiri dengan melakukan fungsi tambahan yaitu membantu. b. Gunakan sumber daya lain.	Mengubah bahan komponen dasar objek yang sebelumnya menggunakan pipa paralon, menjadi galon daur ulang dari plastik yang bisa manfaatkan kembali menjadi wadah tanaman yang lebih murah dan terjangkau.	

4.2.8 Uji Normalitas Data

Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS untuk mengetahui dimensi yang digunakan sudah normal. Data yang digunakan untuk uji normalitas adalah data yang terdiri dari dimensi tubuh 50 responden berupa tinggi badan (TB), jangkauan tangan (JT), lebar bahu (LB) dan tinggi siku (TS). Taraf kepercayaan yang digunakan sebesar 95% atau $\alpha = 0{,}05$. Berikut merupakan hasil uji normalitas menggunakan *software* SPSS.

Hipotesis dari uji normalitas tersebut adalah:

- H0 = nilai skor berdistribusi normal
- H1 = nilai skor tidak berdistribusi normal

Dengan kriteria:

- Jika nilai probabilitas $(\alpha) > 0{,}05$ maka H0 diterima
- Jika nilai probabilitas $(\alpha) < 0{,}05$ maka H0 ditolak

Tabel 4. 8 Uji Normalitas

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TB	0,109	50	0,193	0,963	50	0,120
JT	0,110	50	0,181	0,933	50	0,007
LB	0,070	50	.200*	0,962	50	0,105
TS	0,092	50	.200*	0,945	50	0,021

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Hasil uji normalitas data dimensi antropometri terhadap 50 responden yang sudah dilakukan, menunjukkan bahwa pada *kolmogrov-smirnov* probabilitas masing-masing dimensi >0,05. Sehingga disimpulkan bahwa H0 diterima dan H1 ditolak. H0 yang diterima menunjukkan populasi tersebut berdistribusi normal dan sampel yang digunakan mewakili populasi yang ada.

4.2.9 Perhitungan Antropometri dan Persentil

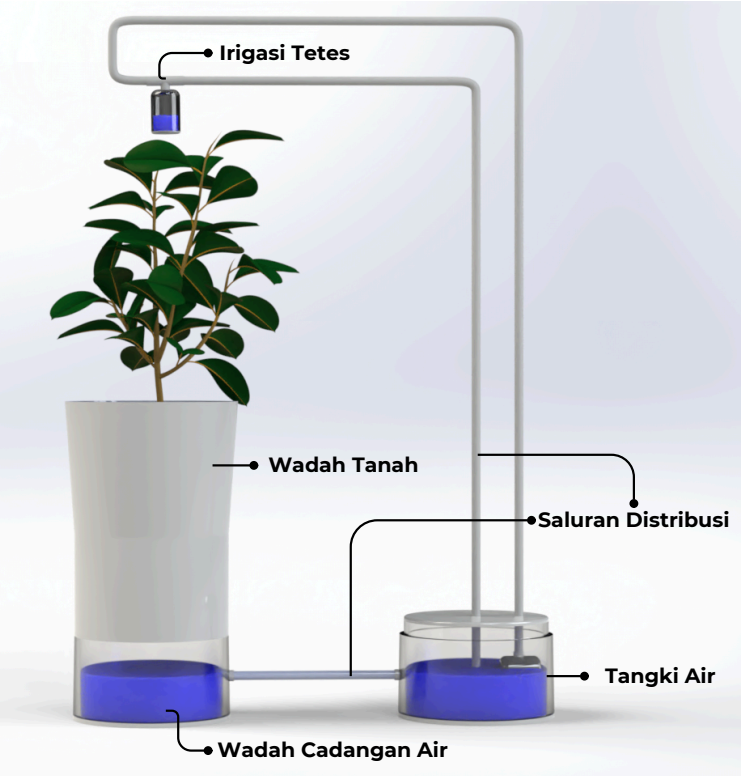
Perhitungan antropometri dilakukan terhadap 4 dimensi tubuh utama yaitu tinggi badan, tinggi siku, lebar bahu dan jangkauan tangan. Tabel 4. 9 menunjukkan hasil perhitungan rataan (mean), Standar Deviasi (SD) dan perhitungan persentil menggunakan P (50) untuk mewakili mayoritas pegguna dengan nilai tengah (netral). Hasil keseluruhan pengukuran pada Tabel 4. 9 yang menjadi solusi TRIZ Nomer 4 (S4).

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Dimensi Tubuh

Sampel (N=50 Responden)		Simbol	Data Deskriptif		Persentil 50
No	Dimensi		Mean	Standar Deviasi	
1	Tinggi Badan Berdiri	TBB	169,6	4,4	169,6
2	Jangkauan Tangan	JT	76,7	2,6	76,7
3	Tinggi Siku Berdiri	TSB	105,5	4,0	105,5
4	Lebar Bahu	LB	41,9	3,1	41,9

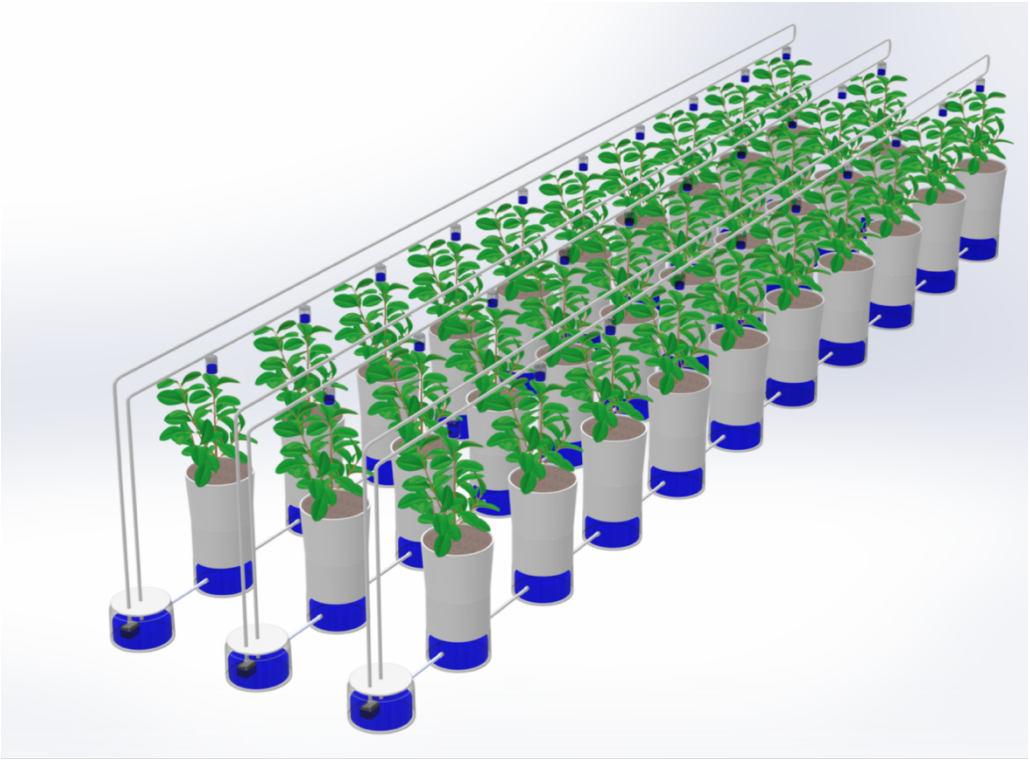
4.2.10 Desain Virtual

Pembuatan desain virtual menggunakan SolidWorks sebagai alat utama untuk menciptakan representasi visual wadah tanaman. Penerapan 40 prinsip inventif dari metode TRIZ membantu dalam mengidentifikasi dan mengatasi tantangan yang ada, seperti meningkatkan fleksibilitas penempatan, penambahan fitur, kenyamanan pengguna dan penggunaan material dari wadah tanaman. Memanfaatkan desain virtual untuk mewujudkan peningkatan yang diinginkan pengguna sebelum dilakukannya realisasi agar mendapatkan gambaran dari wadah tanaman yang diharapkan, seperti yang terlihat pada Gambar 4. 2 Gambar 4. 3 dan Gambar 4. 4.



Gambar 4. 2 Desain Wadah Tanaman Tampak Samping

Gambar 4. 3 Desain Wdah Tanaman Tampak Isometrik



Gambar 4. 4 Desain Wadah Taman Tampak Keseluruhan

4.2.11 Dimensi Produk

Ukuran dimensi wadah tanaman menjadi aspek penting dalam merancang wadah tanaman yan ergonomis, dengan memperhatikan kesesuaian dimensi terhadap antropometri tubuh pengguna. Penentuan ukuran dilakukan melalui analisis sistematis data persentil antropometri, tujuannya menciptakan desain yang nyaman. Hal ini membantu mengurangi risiko cedera serta kelelahan pada pengguna. Tabel 4. 10 adalah detail dimensi produk yang dirancang dengan pendekatan ergonomis dan berdasarkan pertimbangan data antropometri.

Tabel 4. 10 Dimensi Produk

Dimensi Produk		
Tinggi Wadah Tanaman	Persentil	: P50
	Ukuran	: 105,5 cm
	Referensi	: Tinggi Siku Berdiri
Jarak Wadah Tanaman	Persentil	: P50
	Ukuran	: 41,9 cm
	Referensi	: Lebar Bahu

Pertimbangan dalam penggunaan dimensi antropometri pada perancangan wadah tanaman meliputi beberapa aspek penting. Pertama, tinggi siku berdiri menghindari postur tubuh yang membungkuk selama bertani, sehingga petani dapat bekerja dengan posisi tubuh yang alami dan nyaman. Kedua, lebar bahu memastikan kenyamanan petani bergerak bebas tanpa bahu bersentuhan dengan wadah tanaman yang ada di kanan atau kirinya, meminimkan risiko terandung atau terbentur saaat berpindah posisi.

Dimensi pendukung rata-rata tinggi badan yaitu 169,6 cm dan jangkauan tangan 76,7 cm sebagai batas desain berada dalam rentang yang aman dan nyaman bagi petani *greenhouse.* Tinggi badan digunakan sebagai patokan proporsi tubuh keseluruhan dalam perancangan desain, dan menentukan ketinggian maksimal keseluruhan wadah tanaman dalam area kerja yang aman. Jangkauan tangan menentukan jarak yang masih nyaman dijangkau oleh tubuh, mencagah pekerja harus membungkuk jauh atau menjulurkan tubuh dalam perawatan tanaman.

Pemilihan P50 (persentil 50) dalam perhitungan antropometri untuk desain ergonomis untuk mayoritas populasi target, dan selaras dengan prinsip TRIZ yang mencari solusi tanpa menciptakan masalah baru dalam hal lain. Ukuran wadah tanaman tidak mengorbankan kenyamanan kelompok pengguna yang lebih besar atau lebih kecil.

4.2.12 Spesifikasi Produk

Spesifikasi produk wadah tanaman dari galon daur ulang merupakan parameter yang memengaruhi fleksibilitas penggunaan, memaksimalkan penggunaan air dan kenyamanan bertani. Desain teknis ini mencakup bentuk wadah, sistem irigasi dan material yang digunakan.

Tabel 4. 11 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi Bahan		
Wadah Utama	Jenis	: Galon Air Bekas (Le Minerale)
	Kapasitas Volume	: ± 15 Liter
	Bahan	: Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)
	Bentuk	: Vertikal
Irigasi Tetes	Jenis	: 1. Botol Plastik Bekas
		2. pipa paralon
	Kapasitas Volume	: 1. 300-600 ml
		2. disesuaikan dengan kebutuhan
	Bahan	: 1. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)
		2. PVC (*polivinil Klorida*)
Penampungan Air	Jenis	: Galon Air Bekas (Le Minerale)
	Kapasitas Volume	: ± 15 Liter
	Bahan	: Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)
	Bentuk	: Vertikal

Desain ini memungkinkan penggunaan galon bekas sebagai alternatif wadah tanam yang hemat biaya, ramah lingkungan dan mudah dimodifikasi. Posisi vertikal galon memberi permukaan tanam yang cukup luas. Sistem penampunan air memastikan kelebihan air dapat ditampung untuk mencegah akar membusuk, dan menggunakan kembali air untuk irigasi tetes. Tinggi wadah tanaman disesuaikan dengan jangkauan tubuh petani agar nyaman saat bertani.

Spesifikasi yang dipilih didasarkan pada kebutuhan utama wadah tanaman, yaitu fleksibel dalam pengaturan ruang dan fungsi, air tidak menguap, tempat penampungan air, kenyaman bertani (ergonomi) dan pemanfaatn bahan bekas. Memastikan wadah tanaman dapat digunakan pada lahan yang terbatas termasuk saat kekurangan air.

Tabel 4. 12 Estimasi Biaya

Spesifikasi Biaya		
Wadah Utama	Jenis	: Galon Air Bekas (Le Minerale) ± 15 Liter
	Harga	: Rp 2.000
	Jumlah	: 50 x 2 (atas dan bawah)
	Total	: Rp 200.000
Irigasi Tetes	Jenis	: 1. Botol Plastik Bekas (300-600 ml)
	Harga	: Rp 500
	Jumlah	: 50
	Jenis	: 2. pipa paralon (PVC)
	Harga	: Rp 63.000/300cm
	Jumlah	: 5
	Jenis	: 3. Pompa air *mini* DC (12V 22W)
	Harga	: Rp 90.000
	Jumlah	: 1
	Total	: Rp 430.000
Toal Biaya		: Rp 630.000

Perhitungan biaya produksi awal wadah tanaman lebih murah dibandingkan biaya wadah tanaman yang menggunakan pipa paralon dimana untuk produksi awalnya menghabiskan biaya untuk membeli pipa paralon >Rp 1.000.000, yang jauh berbeda dengan penggunaan bahan daur ulang.

4.2.13 Prinsip Kerja Wadah Tanaman

Wadah tanaman dirancang untuk petani *greenhouse* yang fleksibel, hemat air dan ergonomi. Prinsip kerjanya melibatkan serangkaian mekanisme yang saling berhubungan, mulai dari sistem perawatan, penyiraman hingga memastikan tanaman tidak kekurangan air dan memiliki cadangan air. Berikut merupakan penjelasan rinci mengenai cara penggunaan wadah tanaman:

1. Penanaman Tanaman

   Bagian teratas (galon pertama) di isi tanah untuk menanam bibit tanaman.

2. Pengairan dan Penyerapan Air

   Air menetes dari botol diatas tanaman menggunakan prinsip irigasi tetes, untuk menaikkan aliran air melalui pipa paralon menggunakan bantuan pompa air.

3. Tempat Tanah

   Media tanah pada wadah tanaman diberi bibit tanaman sebagai tempat tumbuhnya tanaman selama di *greenhouse.*

4. Penampungan Air

   Penampungan air menampung air berlebih yang akan turun pada wadah tanaman bagian terbawah (galon kedua). Volume air akan diseimbangkan antar galon penampungan dengan pipa paralon sebagai penghubung.

5. Perawatan Tanaman

   Wadah tanaman memiliki tinggi yang disesuai dengan tubuh petani untuk memberikan kenyamanan, dan juga bentuk wadah tanaman yang dapat dibongkar-pasang untuk memudahkan proses perawatan tanaman.

6. Pemanfaatan Ulang Material

   Karena menggunakan galon bekas, wadah ini mendukung prinsip daur ulang dan ramah lingkungan. Penggunaan kembali material plastik memperpanjang penggunaan galon yang sebelumnya merupakan limbah rumah tangga.

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis *Inventive Principles*

Inventive principles didapatkan dari identifikasi matriks antara *improving feature* dan *worsening feature* dalam suatu fungsi desain yang dianalisis menggunakan metode TRIZ. Melalui matriks kontradiksi diperoleh alternatif solusi secara konsepual dalam menyelesaikan kontradiksi yang muncul antara fitur yang ingin ditingkatkan (*improving feature)* dan dampak negatif yang kemungkinan timbul dari fitur yang ditingkatkan (*worsening feature).*

Konsep solusi yang dihasilkan *inventive principles* dipilih yang paling sesuai dengan realistis untuk diterapkan dalam perancangan produk. Pada perancangan wadah tanaman menerapkan *inventive principles* untuk menghasilkan inovasi yang tidak hanya meningkatkan fungsi utama wadah tanaman, tetapi juga meminimalkan dampak negatif atau kerugian yang mungkin terjadi. Solusi yang terpilih digunakan sebagai dasar pengembangan produk yang bisa diimplementasikan pada wadah tanaman. Proses ini membantu memastikan bahwa solusi yang diusulkan tidak hanya meningkatkan fungsi, tetapi mampu memenuhi kebutuhan pengguna dengan tetap mempertimbangkan aspek-aspek teknik dan fungsional yang relevan.

5.1.1 Atribut Modular Fleksibel

Modular fleksibel memprioritaskan wadah tanaman yang fleksibel dengan bagain-bagian terpisah. Tujuan dari atribut ini adalah wadah tanaman bisa dilepas pasang tanpa mengganggu tanaman lainnya, sehingga satu wadah tanaman dapat digunakan untuk beberapa jenis tanaman dengan beberapa kebutuhan yang berbeda seperti kedalaman media tanam ataupun jarak antar tanaman. Permasalahan yang timbul akibat dari peningkatan fungsi tersebut mempengaruhi stabilitas dikarenakan membagi objek menjadi beberapa unit dan menumpuknya secara vertikal membutuhkan keseimbangan yang baik.

Untuk mengatasi kontradiksi ini, digunakan prinsip-prinsip inventif dari TRIZ dengan memperhatikan *improving feature adaptability or versality* (35) dan *worsening feature stability of the object's composition* (13). *Inventive principles* yang didapat adalah 35, 30 dan 14 dengan solusi yang tepat untuk perbaikan adalah prinsip 35 (*parameter changes*). Prinsip *parameter changes* betujuan membuat wadah tanaman bisa beradaptasi dengan berbagai jenis tanaman, kondisi ruang dan kebutuhan tanaman tanpa harus mengganti bentuk atau tempat tanaman setiap kali ada perubahan. Prinsip ini dipilih karena memberikan solusi yang memungkinkan

produk mampu beradaptasi dengan berbagai kebutuhan tanaman, misalnya kedalaman akar, jarak tanam, maupun posisi tanam, sehingga perubahan parameter ukuran dan konfigurasi modul menjadi solusi. Sementara prinsip 30 (*flexible shells and thin films*) dan 14 (*spheroidality*) kurang relevan karena poin fleksibilitas di wadah tanaman bukan bahan yang lentur melainkan wujud desain (bisa bongkar pasang atau disusun ulang).

Gambar 5. 1 Komponen Wadah Tanaman

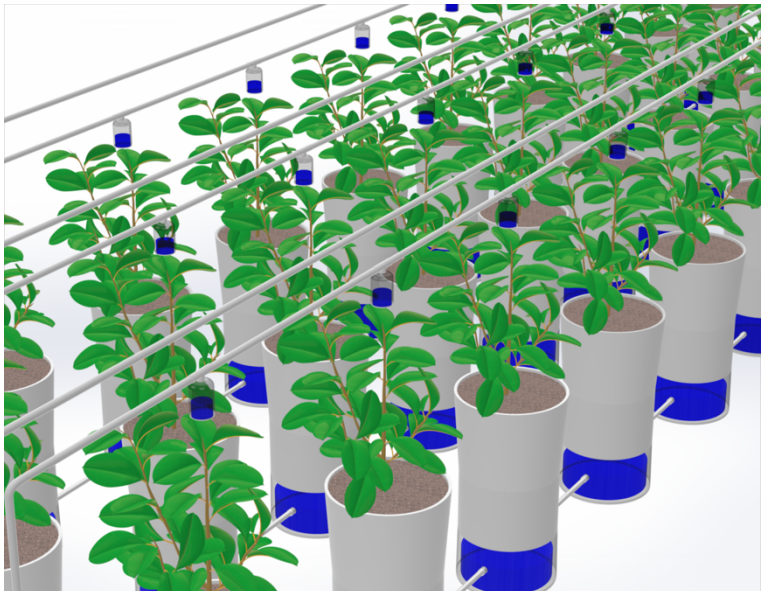
Prinsip ini menyarankan membuat suatu objek yang bersifat tetap menjadi lebih fleksibel untuk berbagai tanaman. Solusi perbaikan yang diusulkan adalah wadah dibagi menjadi beberapa unit atau bagian terpisah yang bisa dilepas pasang (modular). Modul bisa dipasang atau ditumpuk atau dilepas sesuai jumlah tanaman atau kebutuhan (fleksibel dalam pengaturan). Wadah tanaman yang sebelumnya menggunakan pipa paralon yang berukuran relatif kecil diubah bentuknya menjadi cukup luas untuk media tanah. Pipa paralon yang sebelumnya terhubung dan bersifat tetap digantikan dengan bentuk modular untuk fleksibilitas wadah tanaman yang mudah disesuaikan kebutuhan tanaman dan penempatan tanaman. Perbaikan fitur ini dapat memudahkan petani dalam proses penanaman ataupun pergantian jenis tanaman yang diinginkan petani tanpa harus banyak mengubah desain wadah tanaman.

5.1.2 Atribut Hemat Air

Hemat air difokuskan untuk memaksimalkan penggunaan air untuk tanaman. Tujuan dari atribut ini adalah untuk mengurangi pemborosan air dan memaksimalkan distribusi air yang merata, sehingga produktivitas tanaman meningkat karena mendapatkan air yang sesuai dengan

kebutuhannya. Permasalahan yang timbul dari peningkatan fungsi mempengaruhi kompleksitas sistem, membutuhkan pengaturan debit air tambahan menyebabkan kerumitan aliran air.

Untuk mengatasi kontradiksi ini, digunakan prinsip-prinsip inventif dari TRIZ dengan memperhatikan *improving feature loss of energy* (22) dan *worsening feature device complexity* (36). *Inventive principles* yang didapat adalah prinsip 7 (*nested doll*) dan 23 (*feedback*) keduanya menjadi solusi yang tepat untuk perbaikan. Prinsip *nested doll* bertujuan untuk sistem tertutup pada saluran air dan *feedback* untuk kontrol aliran air. Kedua prinsip dipilih karena memaksimalkan pemakaian dan distribusi air untuk tanaman, sehingga tanaman tidak kekurangan air karena evaporasi ataupun kelebihan air.



Gambar 5. 2 Komponen Sistem Irigasi

Prinsip ini menyarankan untuk menggunakan sistem irigasi yang lebih kompleks dengan tujuan memaksimalkan penggunaan air untuk tanaman. Solusi perbaikan yang diusulkan adalah pada saluran irigasi menggunakan pipa paralon yang tertutup dan menggunakan sistem irigasi tetes untuk memaksimalkan pengunaan air langsung menetes diatas akar tanaman. Wadah tanaan bisa menyimpan, mendaur ulang dan mengatur suplai air agar lebih hemat dan maksimal dalam penggunaannya. Wadah tanaman sebelumnya menggunakan aliran air yang dialirkan melalui pipa yang sekaligus menjadi wadah tanaman, diubah menjadi terpisah dengan sistem irigasi tetes (*drip irrigation*) dan pada aliran penampungan air ditambahkan pipa penghubung untuk menghubungkan penampunan air satu dengan yang lainnya agar volume air rata disetiap wadah tanaman.

5.1.3 Atribut Tempat Penampungan Tanah dan Cadangan Air

Tempat penampungan tanah dan cadangan air dibuat agar tanah dan air memiliki tempat tersendiri. Tujuan dari atribut ini adalah membut tempat tanah dan tempat menyimpan air cadangan, sehingga petani tidak perlu melakukan pembersihan secara meyeluruh saat melakukan pergantian tanaman baru dan sisa air saat proses penyiraman dapat digunakan kembali. Permasalahan yang timbul dari penambahan fungsi membuat bentuk wadah tanaman berubah menjadi lebih besar dari sebelumnya dan beresiko membutuhkan tempat yang luas.

Untuk mengatasi kontradiksi ini, digunakan prinsip-prinsip inventif dari TRIZ dengan memperhatikan *improving feature device complexity* (36) dan *worsening feature shape* (12). *Inventive principles* yang didapat adalah 29, 13, 28 dan 15 dengan solusi yang tepat untuk perbaikan adalah prinsip 13 (*the other way round*). Prinsip *the other way round* betujuan membuat wadah dengan membalik orientasi atau posisi fungsi sehingga penggunaan ruang lebih efisien, seperti dari yang horizontal ke vertikal, tempat penyimpanan air diletakkan dibagain bawah. Prinsip ini dipilih karena memberikan solusi yang memungkinkan produk memiliki dua bagian atas untuk tanah dan bagian bawah untuk cadangan air, sehingga mengubah cara kerja wadah tanaman dari sistem pasif (hanya menampung tanaman) menjadi sistem aktif yang menyimpan tanah dan air di dalam wadah menjadi solusi. Sementara prinsip 29 (*pneumatic and hidraulics*), 28 (*mechanics substitution*) dan 15 (*dynamics*) tidak dijadikan solusi karena fokus masalahnya bukan mengganti media padat menjadi cair atau gas, mekanisme kontrol ataupun mengubah bentuk maupun tinggi, tetapi menyediakan ruang simpan air dan tanah dalam satu wadah.

Gambar 5. 3 Komponen Tempat Tanah dan Cadangan Air

Prinsip ini menyarankan untuk merubah wadah tanaman yang sebelumnya pasif dengan memiliki penampungan tanah dan cadangan air yang berguna untuk tanaman. Solusi perbaikan yang diusulkan adalah penggunaan media tanaman yang biasanya hanya menggunakan sedikit tanah bahkan tanpa tanah, membuat petani harus mengganti media tanaman untuk jenis tanaman yang berbeda, dan dibuat wadah tanaman memiliki tempat tersendiri untuk tanah. Biasanya air hanya dialirkan dan terbuang, sekarang wadah juga dapat menyimpan air cadangan dari sisa proses penyiraman.

5.1.4 Atribut Ketinggian Ergonomis

Ketinggian ergonomis diperhitungkan agar petani nyaman dalam melakukan aktivitasnya. Tujuan dari atribut ini adalah menyesuaikan tinggi wadah tanaman dengan rata-rata dimensi tubuh petani, sehingga petani tidak harus membungkuk atau berjogkok dalam waktu yang salam saat melakukan perawatan tanaman. Permasalahan yang timbul dari penyesuaian tinggi adalah menambah ukuran wadah tanaman secara vertikal ke atas menyebabkan wadah kurang stabil.

Untuk mengatasi kontradiksi ini, digunakan prinsip-prinsip inventif dari TRIZ dengan memperhatikan *improving feature ease of operation* (33) dan *worsening feature stability of the object's composition shape* (13). *Inventive principles* yang didapat adalah 32, 35 dan 30 dengan solusi yang tepat untuk perbaikan adalah prinsip 35 (*parameter changes*). Prinsip *parameter changes* betujuan mengubah parameter ketinggian objek, sehingga wadah tanaman dapat dibuat sesuai perhitungan antropometri yang sesuai dengan dimensi tubuh rata-rata petani. Prinsip ini dipilih karena memberikan solusi yang menjawab masalah parameter tinggi wadah tanaman yang kurang nyaman saat petani melakukan aktivitasnya. Sementara prinsip 32 c*Colour changes*) dan 30 (*flexible shells and thin films*) tidak dijadikan solusi karena fokus masalahnya bukan mengubah visual ataupun fleksibilitas material, kedua solusi tersebut tidak menyelesaikan maslah ergonomi untuk tinggi wada tanaman.

Gambar 5. 4 Komponen Tinggi Wadah Tanaman

Prinsip ini menyarankan mengubah parameter ketinggian objek. Solusi perbaikan yang diusulkan adalah mengubah ketinggian wadah taman sesuai perhitungan antropometri. Sebelumnya ketinggian wadah tanaman hanya setinggi lutut, kemudian dibuat agar tingginya sesuai dengan jangkauan tangan petani saat berdiri. Wadah tanaman yang sebelumnya ketinggiannya tidak sesuai dengan tinggi tubuh petani, menyebabkan petani harus membungkuk atau jongkok dalam waktu yang lama saat melakukan perawatan tanaman. Perbaikan fitur ini membuat petani lebih nyaman dalam beraktivitas di *greenhouse*.

5.1.5 Atribut Bahan Lebih Hemat

Bahan lebih hemat mempunyai prioritas untuk menggunakan bahan yang tidak memakan biaya terlalu besar. Tujuan dari atribut ini adalah untuk menciptakan wadah tanaman yang ekonomis dan ramah lingkungan, sehingga petani tidak perlu lagi mengeluarkan biaya yang cukup mahal untuk *greenhouse.* Permasalahan yang timbul akibat dari penggunaan bahan yang lebih hemat dapat membuat kenyamanan penggunaan dan operasional menurun, seperti bentuk potongan bisa kurang simetris dan bahan yang lebih hemat tidak memiliki fitur atau kualitas yang sama seperti bahan sebelumnya.

Untuk mengatasi kontradiksi ini, digunakan prinsip-prinsip inventif dari TRIZ dengan memperhatikan *improving feature quantity of substance/the matter* (26) dan *worsening feature ease of operation* (33). *Inventive principles* yang didapat adalah 35, 29, 25 dan 10 dengan solusi yang tepat untuk perbaikan adalah prinsip 25 (*self service*). Prinsip *self service* betujuan menggunakan sumber daya lain, seperti memanfaatkan sisa atau limbah yang sudah ada. Sehingga memungkinkan petani tidak mengelurkan biaya terlalu besar. Prinsip ini dipilih karena memberikan solusi yang menjawab masalah penggunaan material yang membutuhkan biaya mahal. Sementara prinsip 35 (*parameter changes*), 29 (*pneumatic and Hidraulics*) dan 10 (*preliminary action*) tidak dijadikan solusi karena fokus masalahnya bukan pada perubahan sifat material, penggunaan sistem atau tindakan awal, yang tidak menyelesaikan masalah penggunaan bahan yang lebih hemat.

Prinsip ini menyarankan menggunakan bahan dasar wadah tanaman yang lebih hemat dan ramah lingkungan. Solusi perbaikan yang diusulkan adalah mengubah bahan komponen dasar objek yang sebelumnya menggunakan pipa paralon, menjadi galon daur ulang dari plastik yang bisa manfaatkan kembali menjadi wadah tanaman yang lebih murah dan terjangkau. Perbaikan fitur ini dapat membantu petani dalam mengurangi biaya pembuatan wadah tanaman, dengan menggunakan banahn-bahan yang sudah ada.

5.2 Analisis Antropometri

Perhitungan antropometri dilakukan untuk menentukan dimensi produk (wadah tanaman di *greenhouse*) agar sesuai dengan rata-rata dimensi pengguna. Menggunakan 50 responden dengan 4 dimensi utama yaitu tinggi badan berdiri, tinggi siku berdiri, lebar bahu dan jangkauan tangan. Penggunaan persentil 50 (P50) dipilih karena mewakili nilai tengah, sehingga dapat digunakan untuk rata-rata responden berusia 19–24 tahun. Ukuran produk yan dirancang tidak terlalu pendek dan tidak terlalu besar.

Hasil perhitungan pengukuran antropometri berdasarkan rata-rata (mean) dan batas toleransi (standar deviasi) adalah:

1. Tinggi Badan (169,6 cm) toleransi 4,4 cm

   Dimensi tinggi badan memberikan gambaran umum tinggi badan berdiri rata-rata responden. Menjadi dasar untuk menyesuaikan tinggi wadah tanaman agar tidak membuat petani harus membungkuk terlalu rendah atau menjangkau terlalu tinggi.
2. Tinggi Siku Berdiri (105,5 cm) toleransi 2,6 cm

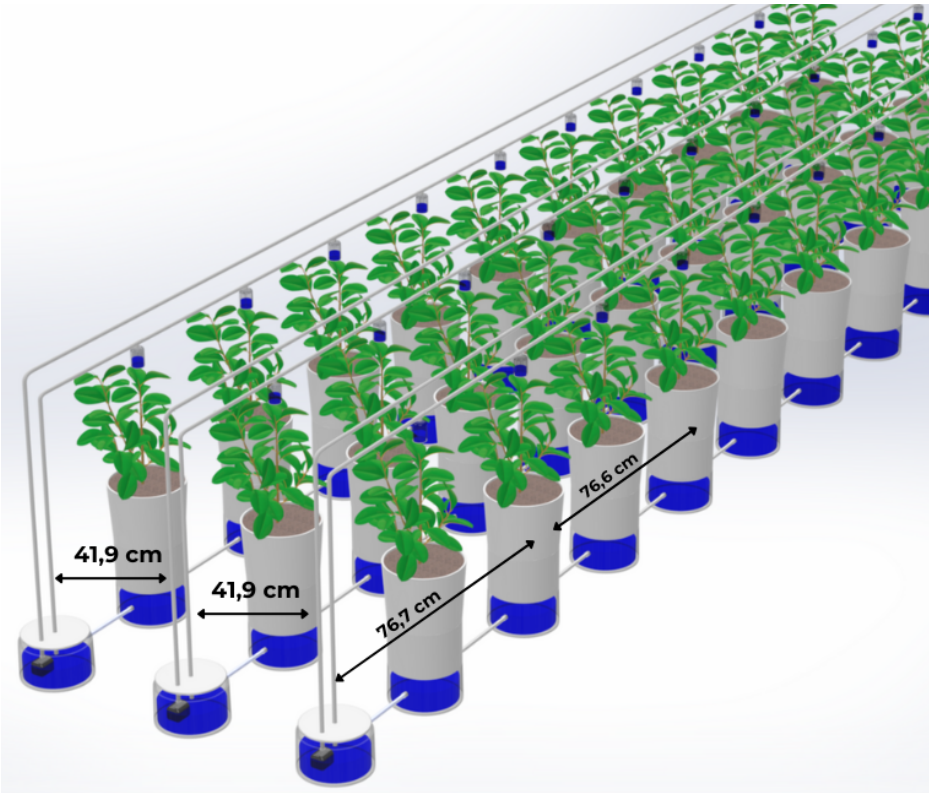
   Tinggi siku berdiri sebagai batasan untuk ketinggian ergonomis wadah tanaman. Wadah tanaman sebaiknya dirancang mendekati tinggi siku agar posisi tangan lebih nyaman saat merawat tanaman, tanpa membebani punggung dan bahu.
3. Lebar Bahu (41,9 cm) toleransi 4 cm

   Lebar bahu digunakan untuk menentukan jarak antar wadah tanaman dan lebar akses jalan di *greenhouse*. Jika jarak wadah terlalu sempit, akan mengganggu mobilitas pentani.
4. Jangkauan Tangan (76,7 cm) toleransi 3,1 cm

   Jangkauan tangan digunakan untuk menentukan lebar jarak wadah atau area kerja yang bisa dijangkau dengan nyaman. Dengan jangkauan 76,7 cm wadah tanaman tidak terlalu jauh jaraknya, sehingga tiap wadah tanaman dapat dijangkau dengan nyaman.

Gambar 5. 5Gambar 5. 6 menunjukkan detail tinggi dan jarak wadah tanaman menggunakan perhitungan antropometri, hasil perhitungan ini mendukung solusi TRIZ nomor 4 (S4) yaitu meningkatkan ketinggian ergonomis wadah tanaman, agar aktivitas petani dapat dilakukan dengan lebih nyaman dan mengurangi risiko kelelahan.

Gambar 5. 5 Tinggi Wadah Tanaman

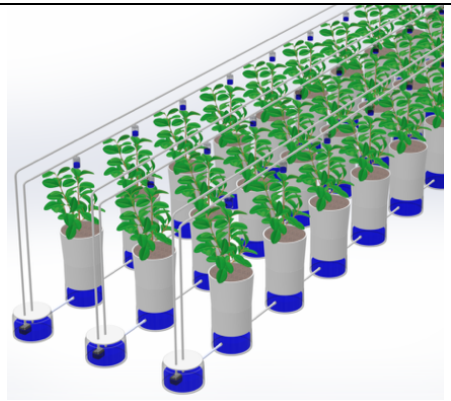


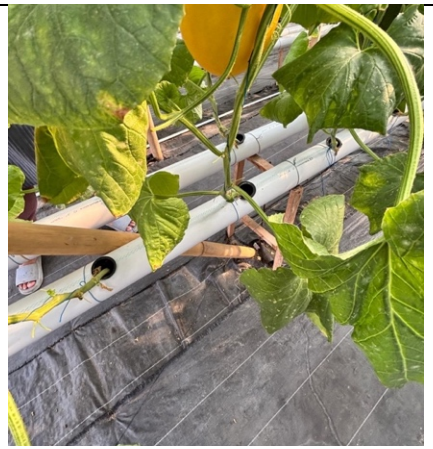
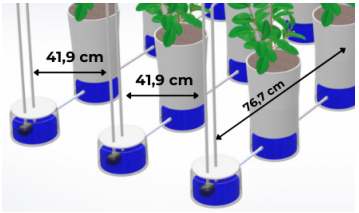
Gambar 5. 6 Jarak Wadah Tanaman

5.3 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Redesain

Analisis perbandingan produk wadah tanaman sebelum dan sesudah redesain dilakukan untuk mengetahui perbedaan ataupun peningkatan yang terjadi pada wadah tanaman terbaru seperti yang ditunjukkan Tabel 5. 1.

Tabel 5. 1 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Redesain

Produk Sebelum		Produk Sesudah	
	Panjang horizontal dan tetap → tidak bisa dibongkar-pasang		Panjang vertikal dan modular → bisa dipindah dan disusun ulang
	Sistem irigasi terbuka → air cepat menguap, debit tidak merata		Sistem irigasi tetes tertutup → air tersalurkan merata lebih hemat

Produk Sebelum		Produk Sesudah	
	Tidak ada penampungan → air terbuang, media tanam cepat kering		Ada dua bagian (tanah dan cadangan air) → air terserap maksimal, media tanam tahan lama
	Wadah rendah (45-50 cm) → petani harus membungkuk/jongkok		Tinggi wadah sesuai antropometri (105,5 cm) → posisi berdiri lebih nyaman
			

Produk Sebelum		Produk Sesudah	
	Banyak pipa PVC → mahal, sulit didaur ulang		Galon plastik bekas → lebih murah, ramah lingkungan

5.4 Kekuragan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu belum dilakukan pembuatan dan pengujian prototipe wadah tanaman sehingga kenyamanan kerja, efisiensi penggunaan air, dan stabilitas struktur belum dapat dievaluasi secara langsung. Selain itu, penelitian belum mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang berpotensi meningkatkan efisiensi dan mendukung konsep pertanian cerdas. Pengumpulan data antropometri juga masih terbatas pada kelompok usia tertentu dan belum mencakup rentang usia 30–40 tahun, sehingga desain yang dihasilkan belum sepenuh hati.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Improving features* dan prinsip inventif TRIZ, yaitu a. modular fleksibel untuk tanaman dan *adaptability or versality*, b. efisiensi penggunaan air dan *loss of energy*, c. adanya penampungan tanah dan cadangan air dan *device complexity*, d. ketinggian ergonomis dan *ease of operation,* e. penggunaan bahan yang lebih hemat dan *quantity of substance. Worsening features* dan prinsip inventif TRIZ, yaitu a. menurunnya stabilitas wadah dan *stability of the object's composition*, b. meningkatnya kompleksitas desain dan *device complexity*, c. perubahan bentuk wadah yang memakan ruang lebih besar dan *shape*, d. wadah kuruang stabil dan *stability of the object's composition*, e. penurunan kualitas akibat penggunaan material yang lebih murah dan *ease of operation*.
2. Matriks inventif yang diperoleh antara lain, a. prinsip *parameter changes* untuk membuat wadah fleksibel dalam pengaturan, b. prinsip *nested doll* dan *feedback* menciptakan sistem irigasi tetes yang tertutup, c. prinsip *the other way round* merancang wadah dengan bagian atas untuk tanah dan bagian bawah untuk cadangan air, d. prinsip *parameter changes* menyesuaikan ketinggian wadah agar ergonomis sesuai antropometri, e. prinsip *self service* memanfaatkan material daur ulang.
3. Usulan desain dari matriks inventif TRIZ adalah a. wadah dirancang modular yang dapat dilepas pasang atau ditumpuk sesuai kebutuhan tanaman, b. sistem aliran air menggunakan irigasi tetes dengan pipa paralon tertutup, c. wadah tanaman dibuat terdiri dari bagian atas untuk media tanah dan bagian bawah untuk cadangan air, d. mengubah tinggi wadah tanaman sebesar 105,5 cm (sesuai tinggi siku berdiri) dan jarak antar wadah tanaman sebesar 41,9 cm (sesuai lebar bahu), e. bahan dasar diubah dari pipa paralon menjadi galon plastik daur ulang yang lebih murah.
4. Perbedaan wadah tanaman sebelum dan sesudah redesain menunjukkan peningkatan yaitu wadah lama bersifat tetap dan panjang horizontal, sistem irigasi terbuka, tidak ada penampungan, wadah rendah (45-50 cm), dan menggunakan banyak pipa PVC. Sedangkan wadah baru dirancang panjang vertikal dan modular, sistem irigas tetes tertutup, ada dua

bagian (tanah dan cadangan air), tinggi wadah sesuai antropometri (105,5 cm), dan menggunakan galon plastik bekas.

6.2 Saran

6.2.1 Saran Untuk Pengguna

Saran untuk pengguna adalah:

1. Berdasarkan hasil redesain peneliti menyarankan untuk mengikuti panduan penggunaan yang diberikan agar wadah tanaman dapat dimanfaatkan secara maksimal dan tahan lama.
2. Peneliti menyarankan untuk menggunakan wadah tanam sesuai dimensi yang telah dirancang agar posisi kerja tetap ergonomis dan tidak menimbulkan kelelahan berlebih.

6.2.2 Saran Untuk Peneliti

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah:

1. Membuat dan menguji *prototype* wadah tanaman secara langsung guna mengevaluasi kenyamanan kerja, penggunaan air dan stabilitas struktur wadah lebih akurat.
2. Menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis IoT (*internet of things*) dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan mendukung konsep *smart farming* berkelanjutan.
3. Memperluas rentang usia responden dalam pengumpulan data antropometri usia 30–40 tahun, sehingga desain yang dihasilkan dapat digunakan kelompok yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

Apsari, A. E., Hadyanawati, A. A., & Purnomo, H. (2022). Perancangan Kamar Tidur Ergonomis Bagi Lansia Dengan Integrasi Metode Axiomatic Dan Triz. *13*(1), 45–52. https://doi.org/10.34001/jdpt.v12i2

Banjarnahor, M. (2019). *Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja*.

Cao, L., Miao, S., & Gu, L. (2022). *Design and Cutting Test Analysis of Chinese Cabbage Harvester*. *Journal of Physics: Conference Series*, *2185*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2185/1/012005

Chai, K. H., Zhang, J., & Tan, K. C. (2005). A TRIZ-based method for new service design. Journal of Service Research, 8(1), 48–66. https://doi.org/10.1177/1094670505276683

Chong, P. L., Ismail, D., Ng, P. K., Kong, F. Y., Basir Khan, M. R., & Thirugnanam, S. (2024). A TRIZ *Approach for Designing a Smart Lighting and Control System for Classrooms Based on Counter Application with Dual PIR Sensors*. *Sensors*, *24*(4). https://doi.org/10.3390/s24041177

Delfieco, A., Jusuf D, F., & Adianto. (2023). *Modifikasi Meja Packing dengan Metode Reverse Engineering dan VDI 2221*.

Dewi, R. S., Rusdiansyah, A., & Herdiansyah, F. (2020). Perancangan Kontainer Berpendingin pada Sepeda Motor dengan Metode QFD dan TRIZ. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, *20*(1), 13–26. https://doi.org/10.24036/invotek.v20i1.752

Freivalds, A., & Niebel, B.W. (2009). Niebel's Methods, Standards, and Work Design. *CiNii Research.*

Hoh, R. B., Alang, N. A., Johari, N. H., Ab. Razak, N., & Alias, J. (2023). Applying TRIZ to Design and Develop Roof Shield for Two-Wheeled Motorcycle. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, *7*(1), 15–23. https://doi.org/10.15282/jmmst.v7i1.9096

Hung, Y. C., Lee, Y. L., & Yee, S. (2024). Design and Improvement of Mobility Aid Walker By Using QFD and TRIZ Method. *Journal of Engineering Technology and Applied Physics*, *6*(1), 6–15. https://doi.org/10.33093/jetap.2024.6.1

Jakti, N. J. K., & Faritsy, A. Z. A. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Metode Six Sigma dan TRIZ Untuk Mengurangi Jumlah Kecacatan Produk di UD Cantenan. *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, *2*(2), 26–38. https://doi.org/10.59024/jisi.v2i2.642

Lee, C. K. M., Tsang, Y. P., Chong, W. W., Au, Y. S., & Liang, J. Y. (2024). *Achieving Eco-Innovative Smart Glass Design With The Integration of Opinion Mining, QFD and TRIZ. Scientific Reports, 14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-58867-1

Lofiana T, F., Handayani R, B., Handayani, Z., & Parasmita T A, B. (2022). *Pemanfaatan Metode Irigasi Tetes Sederhana Untuk Budidaya Tanaman Hortikultura di Desa Ungga, Kecamatan Praya Barat Daya, kabupaten Lombok Tengah*. https://doi.org/10.29303/jpmpi.v3i2.1786

Lu, S., Guo, Y., Huang, W., & Shen, M. (2022). Product Form Evolutionary Design Integrated with TRIZ Contradiction Matrix. *Mathematical Problems in Engineering*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/3844324

Mahru Attin, N. (2023). *JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri) Redesain Kursi Operator Jahit Dengan Metode Reverse Engineering (Studi Kasus: Umkm Sidayu)*.

Nabila, M., & Anandaputri, K. A. (2023). *Dampak Pengalihan Fungsi Lahan Pertanian Indonesia*. https://www.researchgate.net/publication/383373013

Nurhayati, E. (2022). Pendekatan Quality Function Deployment (QFD) dalam proses pengembangan desain produk Whiteboard Eraser V2. *Pengetahuan Dan Perancangan Produk)*, *5*(2), 75–82.

Nurmianto, E. (2004). Ergonomi: Konsep Dasar dan Aplikasinya. *Surabaya: Edisi Pertama, Guna Widya Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*

Pinzke, S., & Lavesson, L. (2018). Ergonomic conditions in manual harvesting in swedish outdoor cultivation. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *25*(3), 481–487. https://doi.org/10.26444/aaem/93334

Prasetyo, P. E., Susetyo, A. E., & Susanti, D. A. (2021). Perancangan Alat Bantu Mandi dan Aktifitas Toilet Portabel Tunadaksa Bagian Bawah.

Pratiwi, M. H., Setyaningsih, Y., Kurniawan, B., Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Semarang, A., Kesehatan dan Keselamatan Kerja FKM UNDIP Semarang, B., & Epidemiologi dan Penyakit Tropis FKM UNDIP Semarang, B. (2009). Beberapa Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Keluhan Nyeri Punggung Bawah Pada Penjual Jamu Gendong. In *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia* (Vol. 4, Issue 1).

Purnomo, H., & Widihandono, I. (2020). *Perbaikan Rancangan Jaket Kerja untuk Kurir Menggunakan Metode TRIZ dan Antropometri* (Vol. 4, Issue 1).

Rahmanulia, B., Solekha, A., Hapsari, S. D., Zaqi, A., Faritsy, A., & Industri, J. T. (2023). Perencanaan Dan Pengembangan Produk *Pouch Bag* Menggunakan Metode QFD (Studi Kasus: Bank Sampah Gemah Ripah Bantul). Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT), 2(3), 168–175.

Rayhana, R., Xiao, G., & Liu, Z. (2020). *Internet of Things Empowered Smart Greenhouse*. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, *4*(3), 195–211. https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391

Ren, W., & Yu, K. (2022*). Time-space-direction extension TRIZ innovation model for product innovation. International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 16, 53–59. https://doi.org/10.46300/9106.2022.16.8

Risky, H. A., Irmayanti, D., & Totohendarto, M. hafid. (2023). Redesign UI/UX Aplikasi Mobile My Pertamina Menggunakan Metode User Centered Design (UCD). *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*.

Romansyah, E. (2020). *Rancang Bangun dan Uji Kinerja Penerapan Teknik Irigasi Tetes Pada Lahan Kering* (Vol. 7, Issue 2).

San, Y. T., Jin, Y. T., & Li, S. C. (2009). TRIZ - Systematic Innovation in Manufacturing. Firstfruits Publishing, 2009.

Santoso, A., Anna, B., & Purbasari, A. (2014). Perancangan Ulang Kursi Antropometri Untuk Memenuhi Standar Pengukuran. *PROFESIENSI*, *2*(2), 81–91.

Steven Witman. (2021). Penerapan Metode Irigasi Tetes Guna Mendukung Efisiensi Penggunaan Air di Lahan Kering. *JURNAL TRITON*, *12*(1), 20–28. https://doi.org/10.47687/jt.v12i1.152

Suzianti, A., Yusuf, A. H., & Fathia, S. N. (2024). *Redesigning Plastic Beverage Bottle Using Kansei Engineering and* TRIZ. *AIP Conference Proceedings*, *2710*(1). https://doi.org/10.1063/5.0145174

Tarigan, J., Bukit, M., Siprianus, D., & Yilu, N. (2023). Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Otomatis Untuk Budidaya Tanaman Terong Ungu (Solanum Melongena L.) Berbasis Internet of Things (IoT) (Vol. 8, Issue 2).

Terninko, J. (1997). Step-by-Step QFD: Customer Driven Product Design. *Boca Raton,FL.*

Wang, S., Park, H., & Xu, J. (2024). Innovating Household Food Waste Management: A User-Centric Approach with AHP–TRIZ Integration. *Sensors*, *24*(3). https://doi.org/10.3390/s24030820

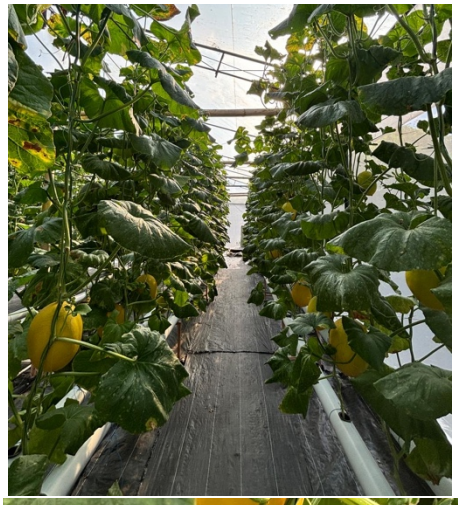
Widiastuti, I., & Susilo Wijayanto, D. (2018). *Design of a Drip Irrigation System for the Dragon Fruit Cultivation*. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, *6*(1), 1–8. https://doi.org/10.19028/jtep.06.1.1-8

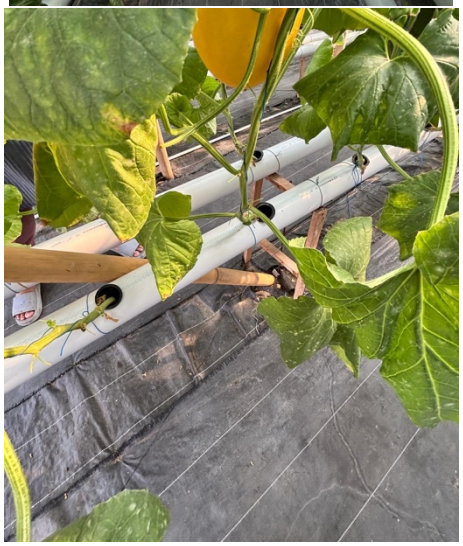
Wu, C., Zhou, Y., Pereia Pessôa, M. V., Peng, Q., & Tan, R. (2021). Conceptual Digital Twin Modeling Based on an Integrated Five-Dimensional Framework and TRIZ Function Model. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 79–93. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.006

Xu, J., Zhang, X., Liao, A., Yu, S., Chen, Y., & Chen, L. (2024). Research on Innovative Design of Towable Caravans Integrating Kano-AHP and TRIZ Theories. In *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (Vol. 15, Issue 3). www.ijacsa.thesai.org

LAMPIRAN

Lampiran Produk Sebelum Redesain





Lampiran Perhitungan Antropometri

No	Nama	Jenis Kelamin	Usia	TB	JT	TS	LB
1	Teuku Rifki Z	L	22	175	72,5	112	46
2	Haryda Yogi Septia	L	20	174	80	115	41
3	Roy Rizki Bugiawan	L	21	170,5	78	106,5	42,8
4	Agung Budi Hartono	L	19	175	71,5	112,5	43
5	Ichsan Hndri Dwi P	L	20	170	73	106	36
6	Adya Bagus	L	23	177	77	110	47
7	Galih	L	21	174	78,5	108	41,7
8	Herdy Juni Ansyah	L	20	169,5	76,5	108,5	44
9	Ikhsan H.	L	20	170	77,5	103,5	44,2
10	Yohan Arya Prasetya	L	20	173,5	80	110	45,7
11	Dodi Sumardi	L	21	170,5	79	110,3	42,3
12	Fantomy Eka Agaskara	L	20	172,6	76,5	108	40,2
13	Shofa Reza Chusnufan	L	21	175	80	101,5	46
14	Hendi Dwi Pramadhan	L	21	170	74	102,5	42
15	Aditya Murti Aji Prakoso	L	20	174	76	105	41,2
16	Dwi Eka Purnomo Sari	L	20	171	77,7	105,8	39
17	Catur Hermawanto	L	20	171	76	101	40
18	Albert Sitompul	L	20	172	78,5	102	41
19	Pepi Yuareda	L	20	172	79,5	102	47
20	Fandi Ahmad	L	20	170	75,5	106	39
21	Fakhri Fadlan	L	21	171	78	108	45
22	Galih Tri Nugroho	L	21	168	79,5	103	41,4
23	Cahyo Atmawan	L	21	171	74	102	47
24	adrian arif	L	21	169,5	76,5	104	42,5
25	Hendita Sulistyawan	L	21	169	77	102,5	43,3
26	Gunawa tri nugroho	L	22	171	75	107	44,8
27	tri apri yudianto	L	21	168	79,5	104,5	44
28	arya sidhi pramana	L	22	173,5	80	113,5	46,5
29	Burhanudin Ranggasah	L	19	169	78,5	107,5	37,5
30	Eko Nugraha	L	22	175	80	113,5	47
31	Muhammad Hartanto	L	22	174,5	80	105,5	42,9
32	Wiwit F. Kusuma	L	23	167,5	74	103	42,3
33	Krishna Apriatmaja	L	23	164,5	77,5	100	40
34	Sonny Tri Nugraha	L	23	172,5	75	105	41
35	Albizar Ramadhandi	L	24	163	76	104	42,2
36	Nungki Ifham	P	21	160,5	76,5	100,5	43
37	Hendia Ventri	P	20	161	71,5	101,2	47
38	Amalia Ramadana M	P	20	165	78,5	106	40
39	Diyah Ratna Wahyuningsi	P	20	166,5	80	109	41
40	Vivialita Septiani Puteri	P	20	164,5	79,2	103,5	40,5
41	Octaviana P.	P	21	160,5	78	100,5	37
42	Atlit Aristriandani	P	21	162,3	70,5	102	38,4
43	Arfiana Fajar	P	21	168	73,5	100,5	37,5
44	Karenina Maharani	P	20	178	71,5	100	39,2
45	noviana dwi harsiwi	P	20	163,5	77	105,5	38
46	yuana	P	22	165	76,5	100,5	39
47	Paramitha F	P	21	172	77	110,5	43,7
48	Aldiani Puspasari	P	19	162	75	105,7	38
49	Indri Astuti	P	20	169	74	110	37,1
50	Roro Ismi M P	P	19	167	78,5	100,5	37
Rata-Rata (Mean):				169,568	76,698	105,5	41,858
Standar Deviasi (SD):				4,41811854	2,62355811	4,04101422	3,13310761
Persentil 50:				169,568	76,698	105,5	41,858