

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Kajian Empiris

Kajian pendukung penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber yang berkaitan dengan adanya perancangan dan pengembangan inovasi toilet, pendekatan antropometri dalam desain produk, dan metode TRIZ yang digunakan sebagai perancangan produk.

Penelitian yang dilakukan oleh Martin, dkk. (2017) dengan judul “*Toilet Assistive System Designed for the Reduction of Accidental Falls in the Bathroom Using Admittance Controller*” telah mengusulkan sistem bantuan melalui toilet yang dapat mengukur aktivitas manusia dengan adanya kecerdasan mekanis yang dapat membantu proses duduk dan berdiri. Metode yang digunakan adalah *Assistive algorithm* (pendeteksi keberadaan pengguna untuk mengaktifkan alat yang dapat menempatkannya ke tempat duduk), *Synthesis and Analysis of Mechanisms* (SAM) dalam mengoptimalkan tingkat presisi lintasan posisi awal dan akhir ketika duduk), simulasi dimensi masing-masing komponen dengan Monte Carlo, dan pemodelan sistem menggunakan *causal loop diagram* (representasi sistem interaksi manusia-mesin). Dalam hal ini, objek penelitian yang dilibatkan adalah perancangan sistem bantuan mandiri untuk membantu penderita *loss autonomy* sekaligus mencegah bahaya jatuh bagi pengguna kamar mandi. Hasil penelitian memunculkan adanya respon terhadap empat jenis sensor gaya yang ditempatkan di bagian tempat duduk toilet dapat memastikan keseimbangan terhadap pengguna. Adanya *Admittance Controller Simulations* dengan parameter massa pengguna berdiri dan duduk memberikan batasan, sehingga membuat sistem selalu stabil (*actuator & amplifier*).

Selain itu, penelitian lainnya yang dilakukan oleh Soewardi & Riza (2015) berjudul “*Ergonomic Inclusive Design of Innovative Toilet for Disable User*” yang bertujuan untuk Mengembangkan parameter desain toilet berdasarkan konsep desain inklusif guna mencapai kriteria kepuasan pengguna. Metode yang digunakan desain produk menggunakan *axiomatic design* (identifikasi parameter desain dengan proses pemetaan atribut pengguna dan kebutuhan fungsional) dan pengukuran antropometri dengan uji

statistik non-parametrik yakni homogenitas. Objek penelitian yang dilakukan adalah perancangan toilet umum yang dapat digunakan secara universal (semua kalangan pengguna).

Adapun penelitian yang berkaitan dengan desain produk inklusif pernah dilakukan oleh Mullick & Ashok (2012) berjudul "*Research and Design of a Cultural Product: Inclusive Design of Squat Latrine*". Penelitian ini bertujuan dalam mengembangkan konsep kakus inklusif dengan melibatkan anak-anak, orang dewasa, lansia, penyandang disabilitas, wanita hamil, dan orang berpostur besar. Survey dilakukan dalam menentukan kebutuhan pengguna melalui 150 pengguna kakus jongkok di India, berkaitan dengan penggunaan, keluhan dan tantangan, serta ketertinggalan model kakus terhadap kebutuhan sekresi. Penelitian ini menghasilkan informasi riset kebutuhan pengguna yang diubah kedalam desain kakus berkonsep inklusif dengan posisi berjongkok. Perancangan kakus baru yang dapat digunakan oleh semua kalangan dapat dipastikan aman dan pantas. Selain itu, konsep kakus yang diusulkan dapat mencakup perlakuan terhadap proses defekasi bagi manula yang menawarkan solusi ergonomi dalam menjaga kenyamanan postur berjongkok selama proses tersebut berlangsung. Konsep perancangan yang diterapkan mempertimbangkan desain ergonomis yang dapat mengurangi keluhan sendi, dengan menawarkan fitur sandaran.

Studi komparatif mengenai permasalahan struktural yang terdapat dalam konsep produk kloset pernah dilakukan oleh Sinan Yu (2018) yang berjudul *Research On Toilet Re-Design Based on Ergonomics*. Guna menunjang penilaian terhadap berbagai prinsip produk seperti "*convenience*", "*comfort*", "*reliability*", "*value*", "*safety*", "*efficiency*", dan lain-lain, konsep toilet yang sudah tersedia kemudian dilakukan perancangan ulang. Berjongkok—sebagai gaya tradisional dalam penggunaan toilet, memiliki karakteristik posisi tubuh bagian sendi lutut yang menanggung berat dan keseimbangan tubuh, sehingga memiliki koordinasi dengan otot betis. Duduk—sebagai gaya modern ketika menggunakan toilet, dapat membuat penggunaanya lebih nyaman (tidak membutuhkan energi yang besar utk bisa menahan beban tubuh), namun proses defekasi cenderung lebih lama dan mengeluarkan energi lebih banyak. Terdapat alat bantu yang dapat digunakan oleh pengguna toilet duduk yang menginginkan postur tubuh jongkok. Alat tersebut terkesan fleksibel karena dapat dicopot-pasang dengan mudah sesuai kebutuhan. Namun, produk ini kurang menyelesaikan masalah karena posisi jongkok yang tidak murni

ditahan oleh betis dikarenakan masih tertahan dengan dudukan toilet. Hal ini menyebabkan paha yang lebih tertahan ke depan untuk dapat membentuk posisi jongkok. Sehingga, tidak ada gaya tekan dari badan bagian atas dengan paha.

Berdasarkan penelitian-penelitian mengenai pengembangan desain dan fasilitas toilet yang telah diuraikan di atas, dapat diketahui bahwa eksistensi toilet dan fasilitas pendukungnya kerap mengalami perkembangan dengan mengutamakan aspek inovasi. Hal ini didukung berdasarkan kebutuhan dan karakteristik penggunaanya yang beragam. Inovasi yang dikembangkan dapat diterapkan untuk kebutuhan toilet umum maupun khusus. Oleh karena itu, dalam penelitian tugas akhir ini akan dikembangkan suatu alat yang diharapkan dapat membantu proses penggunaan kloset duduk dengan postur pengguna yang lebih beragam melalui ketersediaan pijakan kaki. Berikut pada Tabel 2.1 referensi penelitian mengenai inovasi produk toilet.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu Mengenai Inovasi Produk Toilet

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
1.	Abir Mullick & Ashok Kumar (2012)	<i>Research and Design of a Cultural Product: Inclusive Design of a Squat Latrine</i>	Interviews, studi pendahuluan, pengukuran postur dengan pendekatan Antropometri
2.	Hartomo Soewardi, Riza Rahma Panduwiranata (2016)	<i>Ergonomic Inclusive Design of Innovative Toilet for Disable User</i>	Axiomatic design, pengukuran postur dengan pendekatan Antropometri
3.	Martin, J. D., dkk. (2017)	<i>Toilet Assistive System Designed for the Reduction of Accidental Falls in the Bathroom Using Admittance Controller</i>	Assistive algorithm, Synthesis and Analysis of Mechanisms (SAM), simulasi Monte Carlo,

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
			<i>system dynamics</i> dengan <i>Causal-loop diagram</i>
4.	Sinan Yu (2018)	<i>Research On Toilet Re-Design Based on Ergonomics</i>	Studi komparatif

Selain penelitian mengenai inovasi produk toilet, terdapat beberapa penelitian menggunakan pendekatan antropometri dalam perancangan produk. Seperti penelitian yang pernah dilakukan oleh Molenbroek & Renate (2006) berjudul “*Anthropometry of a Friendly Rest Room*”. Penelitian ini menghasilkan perancangan toilet umum sesuai dengan standar Eropa. Dimensi antropometri yang dilibatkan berupa panjang pantat popliteal ($P_5 - 5\text{cm}$ atau $(P_5-P_{95}) - 5\text{cm}$) sebagai panjang permukaan duduk, tinggi popliteal ($P_5 + \text{tinggi hak sepatu}$ atau $(P_5-P_{95}) + \text{tinggi hak sepatu}$) sebagai tinggi permukaan duduk, lebar paha ($P_{95} + \text{kain pakaian}$ atau $(P_5-P_{95}) + \text{kain pakaian}$) sebagai lebar permukaan duduk, tinggi sandaran siku ($P_5-P_{95} + \text{tinggi permukaan duduk}$) sebagai tinggi pegangan horizontal, lebar bahu (P_5-P_{95}) sebagai lebar pegangan vertikal, dan panjang jangkauan tangan (P_5-P_{95}) sebagai jarak ke pegangan vertikal. Adapun sampel yang dilibatkan adalah mahasiswa dg rentang usia 20-25 tahun.

Dawal, dkk. (2015) melakukan penelitian serupa dengan pendekatan antropometri berjudul “*Determination of The Significant Anthropometry Dimensions for User-friendly Designs of Domestic Furniture and Appliances – Experience from A Study in Malaysia*”. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi tubuh dari *database* antropometrik untuk usia lanjut di Malaysia. Dengan adanya *database* tersebut, perancangan fasilitas rumah tangga dapat dijadikan sebagai pedoman. Sejumlah 107 partisipan dalam penelitian ini, melibatkan 61 responden perempuan dan 46 responden laki-laki dalam rentang usia 55-70 tahun. Adapun dimensi antropometri yang dilibatkan dalam penelitian ini berjumlah 61 bagian, dengan penggunaan jenis persentil 5 dan 95.

Pendekatan antropometri dalam desain toilet juga pernah diterapkan dalam penelitian berjudul “*Ergonomic Design of Bathrooms for People with Cerebral Palsy in the*

Philippines” oleh Alberto, dkk. (2016), dengan mendeskripsikan teknik pengukuran area toilet yang dibutuhkan oleh lansia atau pengguna kursi roda. Pengambilan data dilakukan melalui simulasi guna menentukan area akses penggunaan toilet oleh pengguna kursi roda dengan bantuan sistem Vicon. Output yang diperoleh yaitu gerakan objek secara optikal. Sejumlah sembilan postur tubuh yang diperagakan pengguna kursi roda untuk kepentingan keakuratan pengukuran sistem tersebut.

Desain toilet umum *portable* bagi perempuan juga pernah dilakukannya oleh Lamto Widodo, dkk. (2019) dengan judul ”*Ergonomic Portable Toilet for Women in Public Facilities*”. Susunan spesifikasi toilet sesuai hasil identifikasi kebutuhan pengguna adalah nyaman, bersih, dan memiliki pencahayaan yang baik. Sebanyak 30 responden dilibatkan dalam penelitian ini, dengan lebih dahulu diidentifikasi postur selama menggunakan kloset model jongkok. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan merancang konsep fasilitas toilet umum yang didasari ukuran dimensi tubuh penggunanya. Dimensi antropometri yang terlibat adalah rentang tangan P₉₅ (ruang toilet), panjang bahu P₉₅ (lebar pintu), panjang pergelangan tangan dan tangan ketika berdiri P₉₅ (tinggi pintu), tinggi popliteal P₉₅ (tinggi kloset), jarak lutut & pantat P₅ (panjang kloset), lebar pinggul P₉₅ (lebar kloset), panjang siku hingga jari2 P₅ (letak shower dan tempat tisu), jarak siku ketika duduk dengan lutut P₅₀ (tinggi shower dan tisu), tinggi siku berdiri P₅ (tinggi pegangan pintu), tinggi pergelangan tangan berdiri P₉₅ (tinggi langit-langit dan gantungan).

Berbagai penelitian yang menggunakan pendekatan antropometri sebagai perancangan produk dan fasilitas di toilet menunjukkan bahwa peranan dimensi tubuh manusia sebagai pengguna suatu produk menjadi bagian yang penting. Hal ini didasari terhadap alasan kesesuaian cara pemakaian penggunanya. Prinsip-prinsip perhitungan antropometri juga akan diterapkan dalam penelitian ini, yang mana memiliki kekhasan pada alat penyangga kaki tambahan untuk kloset duduk.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Mengenai Pendekatan Antropometri Dalam Desain Produk

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
1.	Molenbroek & Renate (2006)	<i>Anthropometry of a Friendly Rest Room</i>	Observasi melalui kuesioner,

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
			pendekatan antropometri statis
2.	Dawal, dkk. (2015)	<i>Determination of The Significant Anthropometry Dimensions for User-friendly Designs of Cosmetic Furniture and Appliances – Experience from A Study in Malaysia</i>	Pendekatan antropometri statis
3.	Alberto, dkk. (2016)	<i>Ergonomic Design of Bathrooms for People with Cerebral Palsy in the Philippines</i>	Perhitungan antropometri statis
4.	Widodo, dkk. (2019)	<i>Ergonomic Portable Toilet for Women in Public Facilities</i>	Observasi melalui kuesioner, pendekatan antropometri statis.

Penggunaan metode TRIZ dalam menyelesaikan masalah hingga merumuskan inovasi secara sistematis dalam konsep desain produk ditemukan dalam beberapa penelitian berikut. Yang & Yang (2011) melakukan penelitian yang berjudul “*Based on Theory of TRIZ in Innovation Design of the Washing Machine*”. Inovasi yang dilakukan menggunakan metode TRIZ yaitu pengembangan konsep desain mesin cuci pintu silinder dan mengintegrasikannya dengan prinsip *green design*. Berawal dari identifikasi kebutuhan pasar hingga menemukan fungsi dan aspek operasional, seperti adaptabilitas, multifungsi, dan automasi yang menjadi hal kontradiktif, TRIZ diformulasikan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut. Beberapa prinsip inventif turut diimplementasikan dalam rancangan berdasarkan parameter-parameter teknis yang telah ditetapkan.

Chang, dkk. (2016) melakukan penelitian berjudul “*Effect of TRIZ on The Creativity of Engineering Students*”. Salah satu objek dalam penelitian tersebut adalah penggunaan TRIZ dalam merancang model produk inovatif mobil solar secara kreatif. TRIZ digunakan sejak menentukan tujuan dan tugas-tugas yang diberikan serta sumberdaya yang dapat digunakan dalam program tersebut, kemudian mengidentifikasi masalah dalam membuat model mobil solar, menentukan pernyataan kontradiktif dan parameternya, mencari strategi dalam penyelesaian kontradiksi, mengusulkan strategi, dan mengembangkan rancangan modelnya.

Hal ini juga dapat ditemui dalam penelitian yang dilakukan oleh Santis, dkk. (2016) berjudul “*TRIZ Inventive Principle in the Creative Process of Textile Products*”. Penulis mengemukakan hasil penelitian berupa evaluasi dari aplikasi konsep keberlanjutan untuk perancangan teknologi kain dengan mempertimbangkan prinsip – prinsip inventif. Sehingga, berbagai alternatif desain dapat diselaraskan dengan fungsi dan kebutuhan dari pembuatan kain tekstil.

Desain produk peralatan rumah tangga masa depan menggunakan metode TRIZ pernah dilakukan penelitiannya, salah satunya berjudul “*Designing New Concepts for Household Appliance with The Help of TRIZ*” oleh Baur, Christopher, dan Udo (2017). Dalam hal ini, TRIZ digunakan dalam mengidentifikasi tren dan pengembangan konsep baru. Selain itu, pengaplikasian TRIZ juga digunakan dalam proyek pengembangan produk industri guna menemukan solusi berprospek persaingan perusahaan. Langkah-langkah yang dilakukan terdiri dari: analisis MPV (identifikasi parameter sebagai refleksi dari kebutuhan dan keluhan responden terhadap daya beli produk), evaluasi MPV (peran parameter), analisis Kurva-S (identifikasi fase/usia produk), identifikasi tren yang sedang berlangsung, pengembangan konsep berdasarkan MPV yang tersedia. Beberapa studi kasus desain produk dipaparkan dalam penelitian ini, salah satunya adalah desain sikat gigi. Tren peningkatan dinamisasi dalam produk sikat gigi, terdapat beberapa sistem seiring perkembangan zaman (*monolith, shifted parameters, one-joint, multi-joint, elastic, powder, liquid, gaseous, dan field*). Dengan mengikuti desain yang dinamis, fungsi yang paling memungkinkan adalah menerapkan sistem gas atau *field* (seperti pemanfaatan karbon dioksida, atau es kering, atau gelombang ultrasonik).

Selain desain produk dalam kebutuhan rumah tangga, kebutuhan lainnya seperti produk penunjang kegiatan belajar juga pernah dilakukannya dengan judul “*Ergonomic Student Laptop Desk Design Using TRIZ Method*” oleh Purnomo & Fikrihadi (2018). Aspek kesehatan fisik dan kenyamanan pengguna menjadi parameter produktivitas penggunaan desain meja laptop tersebut. Pemilihan metode TRIZ didasarkan kebutuhannya dalam menemukan ide dan konsep guna menyelesaikan beragam permasalahan yang diarahkan pada kondisi permasalahan yang ada, dapat membantu dalam mengembangkan dan meningkatkan produk, serta solusi yang dicapai bersifat detail. Berawal dari analisis masalah terhadap kondisi desain meja laptop yang sudah ada, kemudian atribut desain ditranslasikan ke dalam *tool* dari TRIZ (matriks kontradiksi). Selain itu, terdapat analisis *Cause and Effect Chain* (CECA) guna mengidentifikasi masalah yang tidak menguntungkan dan mengeliminasi masalah utama sehingga menjadi solusi. Uji validasi diterapkan dalam menilai solusi desain dengan hasil tidak ditemukan perbedaan dari solusi yang diberikan dengan kebutuhan konsumen ($P > 0,05$).

Aplikasi metode TRIZ yang general membuatnya menjadi aplikatif jika diterapkan dalam berbagai solusi permasalahan, salah satunya melalui konsep desain produk. Umumnya, permasalahan yang dipaparkan melalui penelitian-penelitian dalam Tabel 2.3. berawal dari adanya hal-hal yang bersifat kontradiktif, sehingga TRIZ dapat menjawab melalui beragam solusi inovatif. Seperti yang telah dipaparkan dalam Sub-bab Latar Belakang Bab I, peneliti menemukan sifat kontradiktif dalam isu permasalahan yang diangkat mengenai pengalaman penggunaan kloset duduk oleh pengguna.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu Mengenai Metode TRIZ

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
1.	Yang & Yang (2011)	<i>Based on Theory of TRIZ in Innovation Design of the Washing Machine</i>	TRIZ
2.	Chang, dkk. (2016)	<i>Effect of TRIZ on The Creativity of Engineering Students</i>	TRIZ, analisis data kuantitatif MANCOVA

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode
3.	Santis, dkk. (2016)	<i>TRIZ Inventive Principle in the Creative Process of Textile Products</i>	TRIZ
4.	Baur, Christopher, dan Udo (2017)	<i>Designing New Concepts for Household Appliance with The Help of TRIZ</i>	TRIZ, pemodelan Kurva-S
5.	Purnomo & Fikrihadi (2018)	<i>Ergonomic Student Laptop Desk Design Using TRIZ Method</i>	System dynamycs (CECA), TRIZ

2.2 Kajian Teoritis

Teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini berkaitan dengan desain produk, penerapan ergonomi dalam desain produk, pendekatan antropometri dalam desain produk, dan metode TRIZ yang digunakan sebagai perancangan produk.

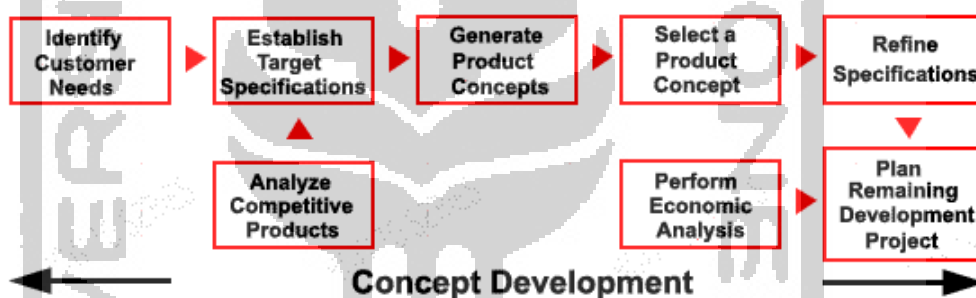
2.2.1 Desain Produk

Menurut Kotler & Amstrong (2012), produk adalah segala sesuatu yang dapat ditawarkan kepada pasar agar menarik perhatian, akuisisi, penggunaan, atau konsumsi yang dapat memuaskan suatu keinginan atau kebutuhan. Suatu produk harus memiliki keunggulan-keunggulan dibanding produk pesaing baik dari segi kualitas, desain, bentuk, ukuran, dan kemasan agar dapat menarik minat konsumen. Suatu produk dipandang penting oleh konsumen dan dijadikan dasar pengambilan keputusan pembelian.

Untuk mencapai produk yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen, maka dilakukan upaya pengembangan produk. Adapun pengembangan produk merupakan serangkaian aktivitas yang membutuhkan peran interdisiplin dari fungsi-fungsi pemasaran, perancangan, hingga proses produksi (Eppinger & Ulrich, 2011). Dalam pengembangan produk, fungsi perancangan menjadi bentuk fisik dari sebuah produk yang dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Fungsi desain yang melibatkan dapat

meliputi *engineering design* (aspek mesin, elektro, *software*, dan lain-lain) serta *industrial design* (aspek estetika, ergonomi, tampilan, dan lain-lain).

Umumnya, proses pengembangan produk mencakup pengolahan input berupa pernyataan kebutuhan hingga peluncuran produk sebagai outputnya. Pernyataan kebutuhan sebagai input menunjukkan adanya proses mengidentifikasi target pasar, fungsi fitur, dan spesifikasi pencapaian tujuan bisnis. Sedangkan peluncuran produk sebagai output terjadi ketika terjadinya transaksi jual-beli produk dalam pasar. Proses pengembangan produk terdiri dari lima urutan, mulai dari *concept development*, *system-level design*, *detail design*, *testing and refinement*, dan *production ramp-up*. Tahap proses *concept development* menjadi titik awal dalam memulai proses perancangan sekaligus pengolahan input pertama. Berikut merupakan *front-end process* dalam *concept development* (Eppinger & Ulrich, 2011) dalam (*Robert Q. Riley Enterprises*, 2018).



Gambar 2. 1 Tahap Pengembangan Produk

a. *Identify customer needs*

Tahap ini merangkum kebutuhan pengguna terhadap produk melalui serangkaian pernyataan kebutuhan. Dalam praktik industri, istilah lainnya yang kerap digunakan adalah *customer attributes* dan *customer requirements*. Melalui pernyataan pengguna sebagai data mentah—yang kemudian diinterpretasi kedalam pernyataan kebutuhan konsumen dan disusun sesuai derajat kepentingan hirarki primer, sekunder, hingga tersier (sesuai kebutuhan)—sehingga dapat menghasilkan output berupa fokus kebutuhan yang akan diambil oleh tim.

b. *Establish target specifications*

Spesifikasi menjadi deskripsi yang tepat dalam menentukan keberfungsian produk. Kebutuhan konsumen yang telah teridentifikasi sebelumnya, diubah menjadi bahasa teknis sehingga lebih mudah untuk menentukan spesifikasi dengan karakteristik yang terukur. Istilah yang kerap digunakan dalam tahap ini adalah *engineering characteristics* atau *technical specifications* sebagai kunci variabel perancangan produk.

c. *Analyze competitive product(s)*

Dalam menentukan spesifikasi teknis, diperlukan analisis perbandingan dengan produk kompetitor (*benchmarking*) agar mengetahui posisi yang akan diambil dalam pengembangan produk. Informasi yang diperoleh dari aktivitas tersebut selanjutnya dapat dijadikan bahan untuk penyusunan dan pemilihan konsep rancangan.

d. *Generate product concepts*

Penyusunan konsep merupakan eksplorasi terhadap ide yang dapat diimplementasikan dalam merancang produk untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Tahap ini terdiri dari penggabungan antara informasi yang diperoleh dari eksternal dan internal tim, sehingga pada umumnya dapat menghasilkan konsep-konsep yang direpresentasikan dengan teks deskriptif atau sketsa.

e. *Select a product concept*

Hasil konsep yang telah ditentukan sebelumnya akan dianalisis lebih lanjut dan dieliminasi guna menentukan preferensi rancangan yang akan ditetapkan. Proses ini biasanya melalui beberapa pengulangan karena adanya perubahan berupa perbaikan konsep. Analisis yang dilakukan dapat berupa keunggulan dan kelemahan atau *rating* terhadap masing-masing konsep, sehingga perbandingan dapat terlihat lebih jelas.

f. *Refine Specification(s)*

Spesifikasi target yang pernah dilakukan dalam tahap 2 selanjutnya disesuaikan kembali dengan konsep yang sudah dipilih dalam tahap 5. Pada proses ini, tim harus konsisten dengan nilai-nilai yang ditampilkan dalam spesifikasi berdasarkan hambatan konsep produk, batasan model teknis, dan *trade-offs* antara estimasi biaya dan performansi yang ditampilkan.

g. *Plan Remaining Development Project*

Tahap akhir dalam pengembangan produk ditandai dengan perancangan jadwal, strategi terhadap minimasi waktu pengerjaan, hingga sumberdaya yang akan

dilibatkan dalam menyelesaikan proyek. Hasil dari perancangan ini berupa berlakunya kontrak yang berisi *mission statement* dari proyek yang berlangsung, kebutuhan konsumen, rincian informasi konsep desain terpilih, spesifikasi produk, analisis ekonomi & finansial, jadwal proyek, tenaga kerja proyek, dan anggaran. Kontrak ini dapat dijadikan landasan persetujuan antara tim pengembang dengan pihak manajemen perusahaan.

h. *Perform economic analysis*

Model ekonomi terdiri dari analisis finansial dan analisis ekonomi. Analisis finansial berguna terhadap rancangan produk yang sudah tetap. Model tersebut digunakan sebagai justifikasi dalam program pengembangan. Sedangkan analisis ekonomi ditentukan guna serangkaian aktivitas yang akan muncul dalam proyek pengembangan produk, sehingga tahapan ini dilakukan dalam membantu merancang penjadwalan proyek.

2.2.2 Ergonomi dalam Desain Produk

(Karwowski, 2007) menyatakan bahwa salah satu permasalahan yang ditemukan dalam perancangan adalah banyaknya kebutuhan fungsional sistem yang harus dipenuhi tingkat kepuasannya dalam satu waktu. Hal tersebut erat kaitannya dengan pertumbuhan terhadap beragamnya kebutuhan manusia, seperti selera terhadap susunan produk (Naeni & Mostowfi, 2015). Adapun pertimbangan yang dilibatkan dalam keputusan manufaktur dalam proses pengembangan produk adalah aspek ergonomi dalam menyatukan sejumlah input yang diperoleh dari pelanggan (Bonapace, 2002), berupa kemauan dan ekspektasi yang penentuannya secara subjektif. Selain itu, proses pengumpulan sejumlah *feedback* pengembangan pun dapat dilakukan, salah satunya guna mengidentifikasi terapan ergonomi yang dapat diketahui parameternya dalam metodologi perancangan industri (Diban & Gontijo, 2015).

Peranan ergonomi dalam desain produk menunjukkan kemampuan dalam mengimplementasikan sejumlah interaksi sebagai bahan pengembangan sistem, sehingga dapat dinyatakan relevan dengan kesesuaian dan kepuasan terhadap kebutuhan manusia sebagai pengguna (Pearson & Young, 2002). Interaksi yang terlibat meliputi objek fisik yang berhubungan dengan tubuh manusia juga kondisi dinamisnya (Boff, 2006). Faktor manusia diperhitungkan berdasarkan kebiasaan, kemampuan, keterbatasan, dan

karakteristik lainnya (Sanders & McCormick, 1992), sehingga dapat mencapai penggunaan yang efektif (Salvendy, 1997).

2.2.3 Antropometri

Sistem kerja yang memiliki interaksi dengan manusia dapat mempertimbangkan karakteristik tubuhnya untuk diimplementasikan ke dalam sistem tersebut. Antropometri berasal dari bahasa Yunani, dengan *antropos* yang berarti manusia dan *metrikos* yang berarti pengukuran. Sehingga, antropometri dapat dikatakan sebagai salah satu cabang keilmuan yang mempelajari pengukuran tubuh manusia (Berlin & Adams, 2017). Dalam implementasinya terhadap perancangan produk, antropometri dapat dilibatkan dalam pengembangan dan perancangan ulang. Tantangan yang dihadapi dalam perancangan sistem kerja atau alat adalah variasi ukuran-ukuran tubuh dengan perbedaan populasi, jenis kelamin, dan suku/ras sesuai dengan populasi yang disesuaikan dengan output yang dirancang. Data antropometri menjadi kunci dalam proses tersebut untuk mengoptimalkan desain dan memaksimalkan penggunaan dan nilai yang ditampilkan kepada penggunanya (Berlin & Adams, 2017).

Adapun variasi dalam data antropometri dapat dipengaruhi oleh faktor – faktor berikut.

a. Keacakan/random

Satu kelompok populasi yang memiliki kesamaan dapat menimbulkan perbedaan yang cukup signifikan antara berbagai macam masyarakat. Distribusi frekuensi secara statistik dari dimensi kelompok anggota yang jelas dapat diakurasi menggunakan distribusi normal menggunakan data persentil.

b. Jenis Kelamin

Perbedaan signifikan juga dapat dialami oleh dimensi tubuh pria dan wanita. Umumnya, segmen badan pria dianggap lebih panjang dibandingkan dengan wanita.

c. Suku Bangsa

Variasi suku bangsa yang menimbulkan perbedaan ukuran dimensi tubuh dapat dipengaruhi berdasarkan angka migrasi dari satu negara ke negara lainnya, sehingga data antropometri nasional juga akan berbeda.

d. Usia

Kalangan usia dapat dikelompokkan berdasarkan usia balita, anak-anak, remaja, dewasa, dan lanjut usia. Ukuran antropometri cenderung meningkat hingga batas usia dewasa, namun setelah menginjak fase dewasa cenderung menurun karena berkurangnya elastisitas tulang belakang serta dinamika tangan dan kaki.

e. Jenis Pekerjaan

Tuntutan berbagai jenis pekerjaan tertentu membuat ukuran dimensi tubuh yang diterapkan dalam antropometri juga menimbulkan perbedaan.

f. Iklim/musim

Variabilitas iklim dan perubahan musim berpengaruh terhadap ukuran pakaian yang dikenakan.

g. Faktor Kehamilan

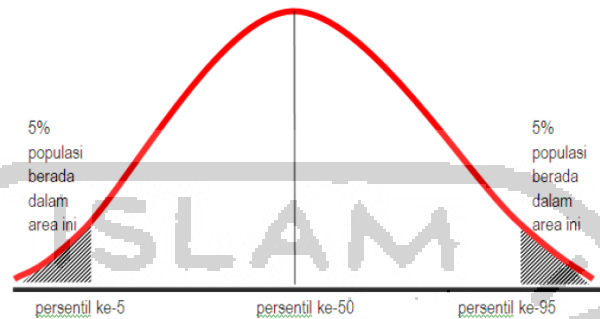
Wanita yang berada dalam fase kehamilan akan memengaruhi antropometri yang diterapkan dalam perancangan produk dan tempat kerja.

h. Cacat Fisik

Permasalahan yang kerap timbul seperti keterbatasan jarak jangkauan, ruang segmen tubuh, jalur khusus, dan bentuk perancangan umum lainnya yang dialami para individu berkebutuhan khusus dapat dipertimbangkan agar implementasi perancangan dapat mengakomodasi jangkauan pengguna yang lebih luas.

Variasi bentuk dan ukuran tubuh populasi manusia yang beragam, membuat perhitungan sebaran normalnya dapat dilakukan dengan perhitungan persentil dalam data antropometri. Persentil dalam data antropometri menunjukkan ukuran rata-rata maupun simpangan baku dari sebaran distribusi normal, sehingga perhitungan persentil menghasilkan nilai yang menunjukkan persentase tertentu dari orang yang memiliki ukuran didalam atau diluar nilai tersebut (Pratama, Sutejo, & Syuaib, 2011). Persentil menunjukkan persentase orang dari suatu populasi yang memiliki ukuran tubuh tertentu. Umumnya, data antropometri cukup menggunakan perhitungan persentil ke-5, ke-50, dan ke-95 (Purnomo, 2013). Sebagai contoh, persentil ke-5 penting untuk digunakan dalam menentukan jangkauan dan batasan untuk fasilitas dalam rumah, seperti fasilitas kloset (Dawal, et al., 2015). Sedangkan persentil ke-95 dapat digunakan untuk memberikan toleransi jangkauan untuk menghindari kontak yang tidak diinginkan (Pheasant, 1996). Adapun contoh lainnya, untuk merancang produk dengan ukuran yang dapat

mengakomodasi 90% dari populasi, maka diambil rentang persentil ke-5 dan ke-95 sebagai batas-batasnya, sehingga dapat mengecualikan 5% ukuran terkecil dan terbesar yang cenderung menemukan kesulitan saat menggunakan produk (Coleman, dkk., 2007).



Gambar 2. 2 Distribusi Persentil ke-5, 50, dan 95 (Pratama, Sutejo, & Syuaib, 2011)

Pengukuran antropometri dapat dibedakan ke dalam dua jenis, yaitu sebagai berikut (Sanders & McCormick, 1992).

a. Pengukuran Statis

Pengukuran dimensi dan jarak tubuh yang dilakukan dengan subjek berada dalam kondisi posisi yang tidak bergerak (statis). Jenis pengukuran ini sangat mudah dilakukan, namun kurang bisa merepresentasikan ketika subjek sedang dalam kondisi *pre* dan *post* mengakses suatu sistem yang diuji (*real work*).

b. Pengukuran Dinamis (Fungsional)

Pengukuran dimensi melibatkan subjek yang berada dalam kondisi posisi bergerak (dinamis), sehingga dapat terlihat rentang ukuran beberapa pergerakan ketika mengakses suatu sistem yang diuji. Dalam pengujiannya, beberapa skenario kerja dikembangkan sesuai fitur perancangan yang akan ditampilkan dalam sistem atau produk.

Selain itu, prinsip-prinsip desain antropometri yang dirancang dapat diketahui sebagai berikut (Freivalds & Niebel, 2009).

a. Desain untuk ekstrim

Prinsip perancangan yang melibatkan fitur-fitur dengan ukuran dimensi tubuh maksimum/minimum yang terakomodasi dari suatu variabel populasinya. Urgensi ukuran maksimum dapat dijadikan pertimbangan sebagai nilai maksimum fitur untuk mengakomodasi keseluruhan pengguna, sedangkan nilai ukuran minimum dapat dijadikan pertimbangan sebagai nilai minimum fitur untuk mengakomodasi

keseluruhan pengguna. Sebagai contoh lorong pintu, yang ukurannya dapat disesuaikan dengan individu yang lebih besar. Umumnya, prinsip ini menggunakan persentil 95 dari kalangan laki-laki dan persentil 5 dari kalangan perempuan sebagai karakteristik parameter desainnya (Sanders & McCormick, 1992).

b. Desain untuk penyesuaian

Prinsip yang digunakan untuk alat atau fasilitas yang dapat disesuaikan ukurannya untuk jangkauan pengguna yang lebih luas. Sebagai contoh meja, kursi, kursi kemudi, stir kemudi, dan lain-lain yang disesuaikan dengan rentang populasi dari persentil 5 dari kalangan perempuan hingga 95 dari kalangan laki-laki dalam rangka mengakomodasi sebesar 90% dari populasi (Kothiyal & Tettey, 2001).

c. Desain untuk rata-rata

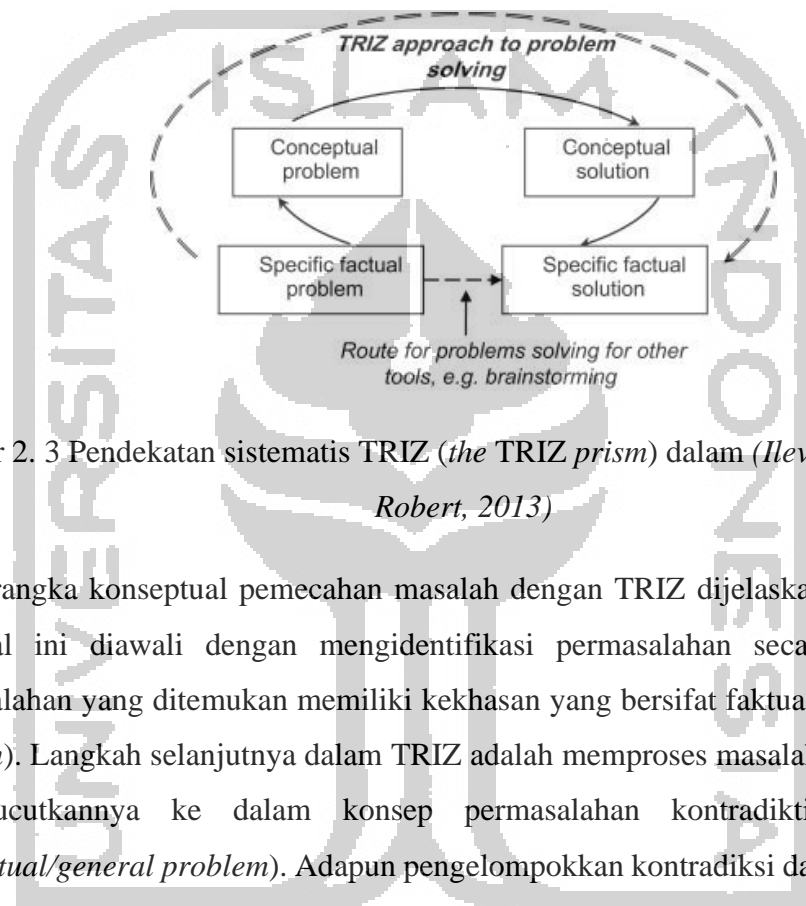
Dalam skala ekonomi, prinsip ini yang paling terjangkau untuk diterapkan namun urgensinya dinilai jarang untuk diimplementasikan. Meskipun demikian, beberapa situasi dapat mempertimbangkan prinsip tersebut. Sebagai contoh perancangan ulang alat yang dirasa massanya terlalu berat sehingga menimbulkan kesan kurang nyaman bagi penggunaannya, maka dari itu prinsip ini dapat diterapkan.

2.2.4 Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)

Perkembangan teknik berpikir kreatif dalam menyelesaikan permasalahan salah satunya pernah dilakukan oleh Genrich Altshuller, yang merupakan seorang pakar paten rekayasa angkatan laut Rusia pada tahun 1940-an (Ekmekci & Koksal, 2015). Dalam pembuatan paten barunya, Altshuller mencari metode standar penyelesaian masalah secara sistematis. Hal ini berdasarkan studi terhadap keberadaan ± 200.000 paten yang kemudian diseleksi hingga menghasilkan 40.000 paten yang inovatif. Pola yang terlihat dari berbagai pengembangan rekayasa sistem dalam menanggapi permasalahan yang bersifat kontradiktif membuat sebuah pengetahuan baru terhadap penyelesaian masalah secara sistematis melalui *Theory of Inventive Problem Solving* (TRIZ) (Gadd, 2011).

TRIZ merupakan akronim dari Bahasa Rusia: *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*, yang memiliki definisi sebuah filosofi, proses, dan serangkaian teknik berdasarkan konsep pemecahan kontradiksi (San, 2009). TRIZ memberikan pendekatan tertentu dalam mencari solusi teknis dan meningkatkan inovasi dalam sistem teknisnya

(Ilevbare, Probert, & Robert, 2013). Pendekatan yang biasa dilakukan melalui *brainstorming*, pemetaan, berpikir lateral, analisis morfologi, dan sebagainya hanya membantu dalam proses mengidentifikasi masalah dengan akar penyebabnya, dengan penentuan solusi permasalahan yang belum terarah. Sementara itu, TRIZ hadir membantu mengidentifikasi masalah dan menawarkan solusi langsung yang bersifat baru dan telah dipertimbangkan (Gadd, 2011).



Gambar 2. 3 Pendekatan sistematis TRIZ (*the TRIZ prism*) dalam (Ilevbare, Probert, & Robert, 2013)

Kerangka konseptual pemecahan masalah dengan TRIZ dijelaskan dalam Gambar 2.3. Hal ini diawali dengan mengidentifikasi permasalahan secara umum. Jenis permasalahan yang ditemukan memiliki kekhasan yang bersifat faktual (*specific factual problem*). Langkah selanjutnya dalam TRIZ adalah memproses masalah tersebut dengan mengerucutkannya ke dalam konsep permasalahan kontradiktif yang serupa (*conceptual/general problem*). Adapun pengelompokkan kontradiksi dalam TRIZ adalah sebagai berikut.

- a. Kontradiksi teknis, yang muncul dalam situasi ketika solusi secara tepat memenuhi standar satu atribut, namun atribut lainnya harus mengalami penurunan standar.
- b. Kontradiksi fisik, yang muncul ketika kebutuhan terhadap atribut yang tidak konsisten (saling bertentangan) sebagai solusi berbentuk kondisi fisik dari sistem yang sama.

Baik kontradiksi teknis maupun fisik dapat diselesaikan melalui matriks kontradiksi sebagai *tool* yang dapat digunakan dalam menentukan *conceptual/general solutions* (Gadd, 2011). Adapun matriks kontradiksi berisi 39×39 parameter teknis yang dihubungkan secara vertikal (*deteriorated attributes/worsening parameters*) dan

horizontal (*improved attributes/improving parameters*). Tabel ini digunakan guna menghasilkan preferensi prinsip inventif yang bisa diterapkan untuk menyelesaikan kontradiksi yang ada.

IMPROVED ATTRIBUTE / DETERIORATED ATTRIBUTE	1	2	3	4	5	22	30	39
	Weight of a moving object	Weight of a stationary object	Length of a moving object	Length of a stationary object	Area of a moving object	Loss of energy	Object-affected harmful factors	Productivity
1 Weight of a moving object			15,8 29,34	29,17 38,34		6,12 34,19	22,21 18,27	35,3 24,37
2 Weight of a stationary object				10,1 29,35		18,19 28,15	2,19 22,37	1,28 16,35
3 Length of a moving object	8,15 29,34				15,17 4	7,2 35,39	1,15 17,24	14,4 28,29
4 Length of a stationary object		35,28 40,29				6,28	1,18	30,14 7,25
5 Area of a moving object	2,17 29,4		14,15 18,4			15,17 30,26	22,33 28,1	10,26 34,2
33 Ease of operation	25,2 15,13	6,13 1,25	1,17 13,12		1,17 13,16	2 19,13	2,25 28,39	15,1 28
39 Productivity	35,28 24,37	28,27 15,3	18,4 28,38	30,7 14,26	10,26 34,31	28,10 29,35	22,35 13,24	

Gambar 2. 4 Matriks Kontradiksi

Sebanyak 39 parameter teknis yang merupakan karakter standar bersifat teknik teridentifikasi melalui analisis paten (Cherifi, 2015) (dalam Lampiran 1). Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mempermudah dalam menemukan faktor-faktor yang dapat menimbulkan kontradiksi, sehingga dapat menimbulkan pernyataan: “jika parameter X ditingkatkan standarnya, maka (n), sehingga parameter Y perlu diturunkan standarnya” (San, 2009). Parameter yang diturunkan merupakan output yang diperoleh sebagai konsekuensi dalam mengganti atau meningkatkan parameter lainnya (Gadd, 2011).

Altshuller (1999) juga merumuskan 40 prinsip inventif yang dapat dipertimbangkan (dalam Lampiran 2) setelah 39 parameter teknis TRIZ teridentifikasi. Prinsip-prinsip tersebut membantu menemukan solusi inventif sesuai permasalahan setelah adanya penelitian dan analisis terdahulu mengenai paten yang terpilih (Ekmekci & Koksall, 2015).