



Integrasi *Axiomatic Design*, *design for manufacture and assembly*, dan Rekayasa Serempak dalam Desain Produk

Alkent Chenio,¹ Rosnani Ginting,^{2*} Aulia Ishak³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia

Abstract

Product design faces challenges where designers need to know the parameters before the design process to minimize product development time, and products that are not suitable for manufacturing cause losses. This research is a narrative literature review of the integration of Axiomatic Design (AD), Design for Manufacture and Assembly (DFMA), and Concurrent Engineering (CE) to see the potential of integrating the three methods in product design. Eight journals from the last decade were analyzed to evaluate the impact of integration on product design. Results showed that the integration of the three methods was able to reduce the required design iterations along with a reduction in manufacturing costs and assembly time. The integration was able to identify and break down functional requirements with cross-functional collaboration from the early stages of design as well as streamlining the product and assembly process. In addition, the integration also provides manufacturing information for designers so that the product design is compliant from the manufacturing side. The combination of the three methods results in products that are easier to manufacture, reduce lead times and product costs. Therefore, this approach is highly recommended for the manufacturing industry to improve cost efficiency, time, and product quality.

Keywords: *product design, literature review, concurrent engineering, axiomatic design, design for manufacture and assembly*

Abstrak

Desain produk menghadapi tantangan di mana desainer perlu mengetahui parameter sebelum proses desain dengan meminimumkan waktu pengembangan produk, serta produk yang tidak sesuai untuk manufaktur menyebabkan kerugian. Penelitian ini merupakan tinjauan pustaka naratif terhadap integrasi *Axiomatic Design* (AD), *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA), dan Rekayasa Serempak (*Concurrent Engineering/CE*) untuk melihat potensi dari integrasi ketiga metode tersebut dalam perancangan produk. Delapan jurnal dari dekade terakhir dianalisis untuk mengevaluasi dampak integrasi terhadap desain produk. Hasil menunjukkan bahwa integrasi ketiga metode mampu mengurangi iterasi desain yang diperlukan disertai pengurangan biaya manufaktur dan waktu perakitan. Integrasi ini mampu mengidentifikasi dan memecah kebutuhan fungsional dengan kolaborasi lintas fungsi sejak tahap awal desain serta penyederhaan produk dan proses perakitan. Selain itu, integrasi ini juga memberi informasi manufaktur bagi desainer sehingga hasil rancangan produk telah memenuhi dari sisi manufakturnya. Kombinasi ketiga metode menghasilkan produk lebih mudah diproduksi, mengurangi waktu tunggu, dan biaya produk. Oleh karena itu, pendekatan ini sangat direkomendasikan untuk industri manufaktur guna meningkatkan efisiensi biaya, waktu, dan kualitas produk.

Kata kunci: *perancangan produk, tinjauan pustaka, rekayasa serempak, axiomatic design, design for manufacture and assembly*

1. Pendahuluan

Pada zaman ini, perancangan dan pengembangan produk berperan bukan hanya pada secara fungsional ataupun kinerja pada produk, namun juga terhadap karakteristik ekonomi produk (Johnson & Kirchain,

2011). Perancangan dan pengembangan produk mengacu pada pembuatan dan pengembangan produk atau penyempurnaan produk yang sudah ada dengan tujuan terpenuhinya kebutuhan pengguna spesifik. Kegiatan ini membantu desainer dalam menerjemahkan ide dan konsep ke dalam produk

* Corresponding author e-mail : rosnani@usu.ac.id

dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti riset pasar, umpan balik pengguna, kelayakan teknis, dan tujuan bisnis (Ivanov, Pavlenko, Evtuhov, & Trojanowska, 2024).

Perancangan produk dan pengembangan produk yang baik harus dapat memuaskan konsumen, sehingga hasil rancangan dapat mempengaruhi keputusan konsumen dalam pembelian produk. Selain itu, rancangan dapat menghasilkan gaya dan bentuk yang menarik, kinerja maksimal, kemudahan dan minimalisasi biaya penggunaan produk serta kesederhanaan dan keekonomian produksi serta distribusi (Julaeha & Yustriana, 2022; Musfiroh, 2020). Ulrich (2016) menyatakan bahwasanya perancangan dan pengembangan produk melewati serangkaian antara lain *planning*, *concept development*, *system-level design*, *detail design*, dan *testing and refinement* (Gibson, 2022).

Perancangan dan pengembangan produk saat ini menghadapi tantangan di mana para desainer harus mengetahui parameter sebelum memulai proses perancangan yang sebenarnya seperti kebutuhan pelanggan, spesifikasi desain, dan lain-lain. Waktu pengembangan produk harus diminimalkan dan dipertahankan. Selain itu, desain produk yang buruk dikarenakan manufaktur menyebabkan kerugian bagi pelanggan (Bhalerao & Bargal, 2014).

Rekayasa Serempak/*Concurrent Engineering* (CE) merupakan wadah dalam proses pengembangan produk terbaik dikarenakan pengembangan produk merupakan proses utama dalam rekayasa serempak. Pengembangan produk dalam CE mengintegrasikan berbagai fungsi dalam dan dari luar organisasi seperti perancang teknik, desainer, manufaktur, pemasok, personel dukungan teknis, dan personel administrasi dan penjualan (Sapuan, 2017).

Pengembangan produk dalam CE bertujuan untuk mengurangi waktu tunggu di mana merupakan tujuan terpenting harus dicapai dalam CE (Stjepandić, Wognum, & J.C. Verhagen, 2015). AD merupakan metode desain terstruktur yang dibuat untuk meningkatkan kegiatan desain dengan menetapkan kriteria di mana desain potensial dapat dievaluasi, dan alat untuk mengimplementasikan kriteria tersebut (Hager, Wafik, & Faouzi, 2017). AD menyediakan kerangka kerja sistematis untuk pengambilan keputusan dan memfasilitas komunikasi di antara berbagai disiplin ilmu (Albano & Suh, 1994). DFMA adalah metodologi desain dengan berinti pada efisiensi desain dalam hal teknik manufaktur yakni segi manufaktur dan perakitan produk (Krumenauer, Matayoshi, Filho, Batalha, & Engineering, 2008). DFMA dalam proses desain dapat meningkatkan

kemampuan manufaktur dan perakitan (Giudice, Ballisteri, & Risitano, 2009).

Integrasi AD, DFMA, dan CE mengurangi perbaikan berulang, berpotensi mengurangi waktu dan biaya produksi sekaligus memastikan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari lebih lanjut integrasi dari ketiga metode dan efeknya terhadap produk.

Rekayasa Serempak (CE)

Rekayasa Serempak atau *Concurrent Engineering* (CE) juga disebut sebagai rekayasa simultan, desain simultan, rekayasa siklus hidup, pengembangan produk terintegrasi, dan desain tim (Syan & Menon, 1994). CE dimulai di Amerika Serikat pada 1982 di mana *The Defense Advanced Research Project Agency* (DARPA) memulai sebuah studi untuk meningkatkan konkurensi dalam proses desain. Istilah CE untuk menjelaskan metode sistematis desain produk dan proses, serta proses dan layanan pendukung lainnya muncul dari Laporan *Report R-338 Institute of Defense Analysis* (IDA) pada tahun 1986 (Prasad, 1996).

CE adalah pendekatan sistematis terhadap desain produk terintegrasi dan bersamaan serta proses terkaitnya, termasuk manufaktur dan dukungan. Pendekatan ini membuat para pengembangan, sejak awal mempertimbangkan semua elemen siklus hidup produk mulai dari konsep hingga pembuangan, termasuk kualitas, biaya, jadwal, dan kebutuhan pelanggan (Sapuan & Mansor, 2014).

CE memberikan filosofi manajemen dengan harapan dalam meningkatkan kepuasan pelanggan melalui peningkatan kualitas, pengurangan biaya, dan pengembangan produk lebih cepat. CE mengarah pada peningkatan kepuasan pelanggan, peningkatan kualitas, pengurangan biaya, pengurangan waktu pengembangan produk baru, pengurangan waktu ke pasar, dan rekonsiliasi persyaratan saling bertentangan dalam pengembangan produk. Filosofi ini memberikan beberapa manfaat yakni pengurangan waktu pengembangan 30-70%, pengurangan waktu ke pasar 20-90%, perubahan teknik menjadi 65-90% lebih sedikit, pemotongan dan pengerjaan ulang hingga 75% lebih sedikit, peningkatan kualitas 200-600% lebih tinggi, produktivitas meningkat 20-110%, imbal hasil asset meningkat 20-120%, dan pengurangan biaya manufaktur 40% (Pullan, Bhasi, & Madhu, 2010).

Penerapan CE melibatkan semua bagian dan fungsi relevan sangat penting dari tahap perancangan produk dan seterusnya. Hal ini mencakup kolaborasi pemasaran, desain, manufaktur, dan departemen lain untuk menjamin integrasi kebutuhan dan perspektif

setiap elemen secara holistik. Keputusan perancangan produk diperoleh melalui proses musyawarah kolektif, dengan mempertimbangkan masukan dari berbagai disiplin ilmu untuk menyelaraskan aspek pemasaran, teknis, dan manufaktur dengan cara memfasilitasi pencapaian tujuan yang diinginkan (Setiawan, Ginting, & Ishak, 2024).

Perancangan produk dalam CE terdiri dari beberapa bagian harus diselesaikan dimulai dari klarifikasi kebutuhan, investigasi pasar, spesifikasi rancangan produk, desain konseptual, perwujudan desain, desain detail, dan manufaktur

Pada tahap klarifikasi kebutuhan, perancang mengklarifikasi kebutuhan desain dari pelanggan atau mengetahui keinginan pelanggan sehingga diperoleh upaya desain dengan arah yang jelas. Selanjutnya, tahap investigasi pasar berkaitan dengan pelaksanaan survey pasar mengenai preferensi pelanggan dan kinerja produk pesaing terhadap produk yang akan dirancang. Tahap spesifikasi rancangan produk membuat dokumen formal yang dikembangkan oleh tim desain produk berdasarkan hasil tahap sebelumnya. Pada tahap desain konseptual, jalur solusi dasar diidentifikasi melalui penjabaran prinsip solusi. Kemudian, tahap perwujudan desain memberikan bentuk konkret atau bentuk yang dapat dilihat pada sebuah ide atau konsep. Pada tahap desain detail, sistem gambar dan spesifikasi dikembangkan secara lengkap sehingga desain telah terbukti dan teruji serta dapat diproduksi. Terakhir, tahap manufaktur berhubungan dengan sistem produksi untuk menghasilkan produk.

Pendekatan dalam perancangan dan pengembangan produk ini menggunakan berbagai macam alat dan layanan perangkat lunak mendukung rancangan produk ekonomis dan optimal. Alat dan layanan yang digunakan dalam CE adalah *Computer Aided Design* (CAD), *Computer Aided Engineering* (CAE), *Computer Aided Manufacturing* (CAM), manajemen proyek, perencanaan proses, dan lain-lain (Dwivedi & Sobolewski, 1991).

Axiomatic Design (AD)

Axiomatic Design (AD) adalah teori dan metodologi desain teknik prespektif di mana memberikan dasar sistematis dan ilmiah dalam pembuatan keputusan desain. Selain konsekuensi dan teorema diturunkan darinya, aksioma memberikan dasar kuat bagi tim desain dalam memformalkan masalah desain, mengkonseptualisasikan alternatif Solusi, menghilangkan ide desain buruk selama tahap konseptual, memilih desain terbaik di antara desain yang diusulkan, dan meningkatkan desain

sebelumnya. Aksioma merupakan proporsi dianggap benar dengan sendirinya tanpa pembuktian (El-Haik, 2005).

AD dikembangkan oleh Nam P. Suh pada pertengahan 1970-an dalam upaya mengembangkan prosedur desain ilmiah, digeneralisasikan, dikodifikasikan, dan sistematis. Dalam pendekatan ini, terdapat empat domain menjadi fondasi antara lain Domain Pelanggan, Domain Fungsional, Domain Fisik, dan Domain Proses. Domain pelanggan berisi atribut pelanggan/*customer attributes* (CA). Domain fungsional diturunkan dari atribut pelanggan dan berisi kebutuhan fungsional/*functional requirement* (FR). Domain desain menyediakan parameter desain/*parameter design* (DP) untuk implementasi konsekuensi dari FR, di mana ditransformasikan dalam proses yang diatur oleh variabel proses/*process variable* (PV) dalam domain proses (Rauch, Matt, & Dallasega, 2016).

Dasar dari pendekatan AD ialah pada aksioma fundamental mengatur proses desain. Dua aksioma diidentifikasi dengan memeriksa elemen-elemen umum yang selalu ada dalam desain baik. Kedua aksioma tersebut *the independence axiom* dan *the information axiom* (N. Suh, 2001)

Aksioma pertama (*the independence axiom*) menyoroti perlunya menjaga independensi FR (Lee & Badrul, 2014). Aksioma kedua (*the information axiom*) menjelaskan perlunya meminimalkan konten informasi yang diperlukan untuk memenuhi FR (Arcidiacono, Matt, & Rauch, 2017).

AD menggunakan matriks desain. Rumus pemetaan dalam matriks desain yang dapat dilihat pada formula (1), digunakan untuk merefleksikan Hubungan antara domain, larik {FR}, dan kodomain {DP}, dalam pemetaan fisik, di mana $\{FR\}_{m \times 1}$ adalah vektor dengan m persyaratan, $\{DP\}_{p \times 1}$ adalah vektor parameter desain dengan p karakteristik, dan A adalah matriks desain (El-Haik, 2005).

$$\{FR\}_{m \times 1} = [A]_{m \times p} \{DP\}_{p \times 1} \quad (1)$$

Ketika matriks desain A atau [A] adalah matriks diagonal persegi, desain tersebut disebut *uncoupled design*. *Uncoupled design* adalah pemetaan satu-ke-satu. Desain lain mematuhi aksioma pertama, meskipun dengan urutan desain diketahui, disebut *decoupled design*. Dalam *decoupled design*, [A] adalah matriks segitiga bawah atau atas. *Decoupled design* dapat diperlakukan sebagai *uncoupled design* ketika DP disesuaikan dalam beberapa urutan yang disampaikan oleh matriks. Pelanggaran terhadap aksioma pertama terjadi ketika FR dipetakan ke DP

digabungkan dengan FR lain. Praktik seperti itu menciptakan kerentanan desain yang disebut sebagai *coupled design*, yang menyiratkan kurangnya kemampuan kontrol dan penyesuaian oleh tim desain dan pelanggan (Sheikh, Abbasi, Talaei, & Tahmasbi, 2015).

Pengukuran tingkat *coupling design* dilaksanakan dengan mengukur *reangularity* dan *semangularity*. Langkah-langkah pengukuran tingkat *coupling design* adalah terdiri dari menentukan normalisasi matriks, menghitung *reangularity*, dan menghitung *semangularity* (Ginting, 2022)

Menentukan normalisasi matriks dapat dilaksanakan menggunakan formula (2) (Ishak, Ginting, & Siallagan, 2024). *Reangularity* (R) mengukur ortogonalitas antara DP dan untuk mengukur interdependensi fungsional yang dapat dihitung menggunakan formula (3) (Mollajan, Iranmanesh, Khezri, & Abazari, 2022). *Semangularity* (S) berfungsi sebagai pengukur untuk penilaian sudut korespondensi yang dapat dihitung menggunakan formula (4) (Jang, Yang, Song, Yeun, & Do, 2002)

Aksioma kedua menyatakan bahwa di antara desain-desain memenuhi aksioma pertama, desain di mana memiliki konten informasi terkecil merupakan desain terbaik. Aksioma kedua terletak pada konten informasi di mana didasarkan pada probabilitas keberhasilan setiap solusi. Untuk satu desain FR, ekspresi matematis dari kandungan informasi, I, dapat dilihat pada formula (5), di mana p adalah probabilitas keberhasilan mencapai FR diberikan. Oleh karena itu, kandungan informasi dari sebuah desain adalah nol ketika keberhasilannya selalu terjamin. Untuk nilai probabilitas lainnya antara 0 dan 1, kandungan informasi akan menjadi angka positif (N. P. Suh, Cavique, & Timothy, 2021).

Design for Manufacture and Assembly (DFMA)

Design for Manufacture and Assembly (DFMA) berasal dari Perang Dunia II ketika Ford dan Chrysler menerapkannya sebagai prinsip dalam proses

$$[B] = [A] * [DP/FR] \quad (2)$$

$$R = \prod_{j=1, p-1}^{k=1+i, p} \sqrt{1 - \frac{(\sum_{k=1}^p A_{kj} A_{kj})^2}{(\sum_{k=1}^p A_{kj}^2 \sum_{k=1}^p A_{kj}^2)}} \quad (3)$$

$$.S = \prod_{j=1}^p \left[\frac{|A_{ij}|}{\sqrt{\sum_{k=1}^p A_{kj}^2}} \right] \quad (4)$$

$$I = -\log\left(\frac{DP}{FR}\right) \text{ or } I = \log\left(\frac{FR}{DP}\right) \quad (5)$$

produksi senjata. Pada awalnya, prinsip ini digunakan dalam industri manufaktur. Pendekatan formal untuk *Design for Manufacture* (DFM) dan *Design for Assembly* (DFA) muncul pada akhir 1960-an dan awal 1970-an, tercermin dalam standar Inggris yang diterbitkan pada 1975 tentang manajemen desain untuk produksi ekonomi. Eksplorasi akademis DFMA juga dimulai pada 1970-an dengan praktik dan penelitian Boothroyd dan Dewhurst (Lu et al., 2021).

DFMA digunakan untuk tiga aktivitas utama yakni sebagai dasar untuk studi CE dalam memberikan panduan kepada tim desain dalam menyederhanakan struktur produk, mengurangi biaya produksi dan perakitan, dan mengukur peningkatan, sebagai alat pembandingan untuk mempelajari produk pesaing dan mengukur kesulitan manufaktur dan perakitan, dan sebagai alat bantu biaya yang seharusnya untuk membantu mengendalikan biaya dan membantu menegosiasikan kontrak pemasok (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2010).

DFMA merupakan pendekatan terstruktur untuk meningkatkan kemampuan manufaktur dan kemampuan perakitan. Metode ini berupaya merampingkan desain produk dan meminimalkan biaya dengan menghilangkan bagian dan fitur yang tidak perlu (Yazid, Ginting, & Panjaitan, 2024). Proses DFMA merupakan kombinasi dari DFA dan DFM (Gupta & Kumar, 2019). DFM berurusan dengan proses fabrikasi suku cadang hingga ke langkah-langkah yang paling sederhana, dan DFA berurusan dengan waktu dan biaya perakitan produk (Antony & Arunkumar, 2020). Prinsip-prinsip DFMA yang diterapkan dalam perancangan produk antara lain meminimalkan jumlah bagian, desain untuk kemudahan penanganan, desain untuk kemudahan penyisipan, standarisasi bagian, dan desain untuk kemampuan proses aktual (Ginting, 2023).

Implementasi *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA) menjadi cara efektif mengoptimalkan desain untuk biaya produksi lebih rendah dan menyederhanakan proses perakitan, sekaligus meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan. Perancangan produk itu sendiri pada akhirnya mengendalikan biaya total dan analisis DFMA dapat memandu upaya pengurangan biaya di awal proses desain produk. DFMA merupakan cara termurah dalam mencapai tujuan mengurangi biaya produk (Naiju, 2021).

Design for Assembly

DFA adalah proses pembuatan desain produk untuk membuat perakitan lebih sederhana dan memerlukan waktu pemrosesan yang lebih sedikit, namun tetap memungkinkan produk untuk fokus pada tujuan yang

dimaksudkan. DFA merupakan salah satu dari sebuah sistem perencanaan *assembling* yang menganalisa sebuah desain dari komponen maupun dari produk secara sebuah keseluruhan luas, yang dapat dimulai dari sebuah awal dan sebuah proses desain-desain, sehingga kesulitan-kesulitan dari proses *assembling* dapat diatasi sebelum komponen dan produk tersebut diproduksi (Firmansyah & Jakaria, 2023).

Design for Manufacture

Setelah analisis DFA dan penyederhanaan struktur produk, langkah selanjutnya adalah menganalisis pembuatan masing-masing bagian. Hanya sedikit desainer memiliki pengetahuan terperinci tentang semua proses pembentukan bentuk utama, dan akibatnya, mereka cenderung mendesain untuk proses membuat mereka nyaman. Tujuan dari proses estimasi biaya DFM adalah untuk memungkinkan tim desain menimbang desain alternatif dan proses produksi, mengukur biaya produksi, dan membuat Keputusan pertukaran yang diperlukan antara konsolidasi komponen dan peningkatan biaya material/produksi (Huang, 1996).

2. Metode

Penelitian ini menerapkan *narrative literature review* untuk mengeksplorasi integrasi AD, DFMA, dan CE dalam desain produk. *Narrative literature review* adalah metode yang mengidentifikasi, menganalisis, dan meringkas literatur yang telah dipublikasikan sebelumnya dengan tujuan untuk memberikan gambaran umum tentang suatu topik, masalah, atau fenomena berdasarkan sumber yang relevan dan kredibel (Widiyanti & Tukiran, 2024).

Basis data akademis seperti Google Scholar digunakan untuk menemukan artikel, buku, dan literatur yang relevan dan telah diterbitkan. Kata kunci yang digunakan untuk pencarian literatur ialah “*Axiomatic Design*” AND “*Concurrent Engineering*”, “*Design for Manufacture and Assembly*” AND “*Concurrent Engineering*”, “*Axiomatic Design*” AND “*Design for Manufacture and Assembly*”, dan “*Axiomatic Design*” AND “*Design for Manufacture and Assembly*” AND “*Concurrent Engineering*”. Pemilihan literatur berdasarkan relevansi pada pertanyaan penelitian, kontribusi, dan metode yang digunakan dalam penelitian.

Literatur yang ditinjau diperoleh dari berbagai bentuk literatur seperti jurnal ilmiah dari ScienceDirect, Taylor & Prancis Online, IEEE, Springerlink; prosiding konferensi; dan lain-lain.

Penggunaan tinjauan pustaka memberikan keuntungan yakni dapat menentukan apakah suatu efek bersifat konstan di seluruh penelitian, menemukan penelitian apa perlu dilaksanakan di masa depan untuk menunjukkan efek tersebut, menemukan karakteristik tingkat studi atau sampel mana berpengaruh pada fenomena, dan lain-lain (Snyder, 2019).

3. Hasil dan pembahasan

Penelitian dilaksanakan untuk meninjau literatur mengenai *Axiomatic Design* dan *Design for Manufacture* pada rekayasa serempak dalam perancangan produk. Literatur yang ditinjau terdiri dari 8 jurnal dari dekade terakhir yang menunjukkan kombinasi dari metode dalam dampak terhadap performa dan efisiensi rancangan produk, serta memunculkan sebuah potensial baru ke arah positif.

“*Improving the Use of QFD with Axiomatic Design*” menerapkan AD sebagai ekstensi dari QFD dalam CE di mana *zigzaging process* mencakup seluruh cakupan desain dalam CE sehingga beberapa iterasi pada tingkat tertentu mungkin diperlukan, tetapi tidak perlu mengulangi tingkat dekomposisi lebih tinggi. Hal ini secara signifikan mengurangi waktu tunggu, biaya, dan meningkatkan kompetensi organisasi (Gonçalves-Coelho, Mourão, & Pereira, 2005).

“*TRIZ and Axiomatic Design: A Review of Case Studies and a Proposed Synergistic Use*” menerapkan AD dalam CE pada perancangan *trip latch roller pin sub-assembly* (TLRPSA) di mana AD efektif dalam mendefinisikan dan menganalisis suatu masalah dengan AD secara sistematis memecah kebutuhan fungsional menjadi elemen-elemen hirarkis individual (Shirwaiker & Okudan, 2008).

“*Reuse-Oriented Redesign Method for Used Products Based on Axiomatic Design Theory and QFD*” menjelaskan penerapan AD pada CE terhadap mesin *lathe* sudah ada di mana dilaksanakan perancangan ulang produk. Hasil penerapan secara teoritis meningkatkan performa peralatan mesin diproduksi ulang mencapai tingkat baru dengan biaya lebih rendah dan mengungguli dari mesin yang sudah ada secara signifikan. Namun, perancangan terbatas pada penyelidikan teoritis dan perlunya peningkatan banyak aspek dikarenakan ketidakpastian tinggi dari keacakan proses remanufaktur (Du, Cao, Chen, & Wang, 2013).

“*An Integrated Approach to Design for Manufacturing and Assembly Based on Reduction of*

Tabel 1. Rekapitulasi tinjauan pustaka

No.	Penelitian	RS	AD	DFMA
1.	<i>Improving the Use of QFD with Axiomatic Design</i> (Gonçalves-Coelho et al., 2005)	✓	✓	
2.	<i>TRIZ and Axiomatic Design: A Review of Case Studies and a Proposed Synergistic Use</i> (Shirwaiker & Okudan, 2008)	✓	✓	
3.	<i>Reuse-Oriented Redesign Method for Used Products Based on Axiomatic Design Theory and QFD</i> (Du et al., 2013)	✓	✓	
4.	<i>An Integrated Approach to Design for Manufacturing and Assembly Based on Reduction of Product Development Time and Cost</i> (Selvaraj et al., 2009)	✓		✓
5.	<i>Engineering Design Featuring the Life Cycle Approach for Reconfigurable Machine Tools</i> (Sibanda et al., 2019)	✓		✓
6.	<i>Study and Scope of DFMA and GD&T in Manufacturing Process: A Case Study on Dual Plate Check Valve</i> (Bhaves Mistry et al., 1999)	✓		✓
7.	<i>An Approach to Integrate Manufacturing Process Information in Part Design Phase</i> (Ferrer et al., 2009)	✓	✓	✓
8.	<i>Axiomatic Design for 'X': An Integrated Methodology for Product Design</i> (Elsaied et al., 2020)	✓	✓	✓

Keterangan

RS: Rekayasa Serempak

AD: Axiomatic Design

DFMA: Design for Manufacturing and Assembly

Product Development Time and Cost” menjelaskan penerapan DFMA dalam CE perancangan komponen pesawat terbang. Penerapan menunjukkan penghematan waktu dan biaya pengembangan produk dalam desain komponen integral dengan mengacu pada berbagai ukuran *batch*. Selain itu, terdapat penghematan dalam jumlah pengencang dikarenakan penghapusan pengencang, dan waktu operasi perakitan (Selvaraj, Radhakrishnan, & Adithan, 2009).

“*Engineering Design Featuring the Life Cycle Approach for Reconfigurable Machine Tools*” menjelaskan penerapan DFMA pada CE pada perancangan sistem manufaktur yang dapat dikonfigurasi ulang. Penerapan ini menghasilkan perancangan komponen yang lebih mudah dimanufaktur, mengurangi biaya produksi, mengurangi aktivitas rekayasa ulang, mengurangi jumlah komponen dan proses perakitan dengan biaya yang efektif. Selain itu, penerapan ini melibatkan berbagai input dan kebutuhan secara simultan dengan melibatkan berbagai tim pada desain (Sibanda, Mpofu, Trimble, & Kanganga, 2019).

“*Study and Scope of DFMA and GD&T in Manufacturing Process: A Case Study on Dual Plate Check Valve*” menjelaskan penerapan DFMA dalam CE pada perancangan *dual plate check valves*. Hasil penerapan menunjukkan peningkatan dalam perakitan dengan penerapan toleransi yang tepat

pada bagian yang dihubungkan dalam perakitan produk, dan pengerjaan ulang dalam perakitan dapat dihilangkan atau diminimalkan (Bhaves Mistry, Drake, & Bhaves Mistry, 1999).

“*An Approach to Integrate Manufacturing Process Information in Part Design Phase*” menjelaskan penerapan integrasi AD dan *Design for Manufacture* pada CE untuk merancang dan memanufaktur batang penghubung. Hasil penerapan menunjukkan hubungan antara desain dan manufaktur menjadi eksplisit sehingga desainer dapat menangkap informasi manufaktur yang penting untuk DFM selama proses perancangan produk (Ferrer, Rios, & Ciurana, 2009).

“*Axiomatic Design for 'X': An Integrated Methodology for Product Design*” menjelaskan penerapan integrasi *Axiomatic Design* dengan *Design for X* pada CE yakni *Design for Manufacture* dan *Design for Assembly* pada *CD Holder*. Integrasi *Axiomatic Design* dan *Design for Manufacture and Assembly* dalam penelitian ini memungkinkan penambahan sebagai besar kebutuhan pelanggan dan produsen dalam perancangan produk seperti kemampuan manufaktur dan perakitan (Elsaied, Soltan, & Hussein, 2020).

Rekapitulasi literatur yang digunakan untuk dilaksanakan peninjauan beserta metode yang digunakan untuk setiap literatur yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka yang terdiri dari 9 jurnal, 3 jurnal menerapkan AD dan CE, 3 jurnal menerapkan DFMA dan CE, dan 2 jurnal menerapkan integrasi AD, DFMA, dan CE. Penerapan AD dan CE menghasilkan rancangan produk dengan pengurangan waktu tunggu dan biaya dengan AD efektif dalam menganalisis masalah secara sistematis sehingga mengurangi iterasi yang diperlukan. AD juga dapat mengubah kebutuhan fungsional akan produk menjadi elemen-elemen hirarkis individual sehingga menghasilkan produk dengan performa lebih tinggi (Gonçalves-Coelho et al., 2005; Shirwaiker & Okudan, 2008). Namun, perancangan dengan pendekatan AD dan CE hanya bersifat teoritis sehingga terdapat ketidakpastian dalam manufaktur (Du et al., 2013).

Penerapan DFMA dan CE memiliki manfaat dalam meningkatkan kemudahan manufaktur dan perakitan. Penerapan ini menghasilkan produk dengan simplifikasi komponen dengan penghapusan pengencang, dan meminimalkan pengerjaan ulang dalam perakitan sehingga mengurangi biaya produksi produk dan menghemat waktu perakitan produk (Bhaves Mistry et al., 1999; Selvaraj et al., 2009; Sibanda et al., 2019).

Integrasi AD, DFMA, dan CE membawa manfaat baru dalam perancangan produk. Integrasi ini membantu desainer dalam menangkap informasi manufaktur sehingga perancangan telah melihat dari segi manufaktur (Ferrer et al., 2009). Selain itu, integrasi ini dapat menjadi penghubung dari segi pelanggan dan segi produsen dalam perancangan produk sehingga produk yang dihasilkan dapat memenuhi pelanggan dengan kemudahan manufaktur dan perakitan serta mengurangi iterasi yang diperlukan (Elsaied et al., 2020). Integrasi ini mengurangi waktu tunggu yang diperlukan, biaya produk, dan waktu perakitan produk dengan performa dan kualitas produk yang tinggi.

4. Kesimpulan

Desain produk menggunakan integrasi Axiomatic Design, Design for Manufacture and Assembly, dan rekayasa serempak memberikan potensial baru. Axiomatic Design dapat menjadi wadah dalam menganalisis dan memecah permasalahan dalam desain produk. Design for Manufacture and Assembly dapat memberikan rancangan produk dengan kemudahan manufaktur dan perakitan.

Integrasi ketiga metode ini menghasilkan rancangan produk dengan pengurangan waktu tunggu dikarenakan mengurangi iterasi yang tidak diperlukan dengan bantuan AD dan terlibatnya semua aspek organisasi dengan CE. Hasil desain juga mengalami penurunan biaya manufaktur produk dan perakitan produk dengan adanya simplifikasi komponen dan pengurangan proses perakitan berulang, serta perancangan dapat melihat segi manufaktur dikarenakan telah memperoleh informasi manufaktur melalui DFMA.

Oleh karena itu, sangat direkomendasikan untuk industri manufaktur dan perancangan produk menerapkan pendekatan ini dalam meningkatkan performa dan efisiensi produk.

Daftar pustaka

- Albano, L. D., & Suh, N. P. (1994). Axiomatic design and concurrent engineering. *Computer-Aided Design*, 26(7), 499–504. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(94\)90081-7](https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)90081-7)
- Antony, K. M., & Arunkumar, S. (2020). DFMA and Sustainability Analysis in Product Design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1455(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1455/1/012028>
- Arcidiacono, G., Matt, D. T., & Rauch, E. (2017). Axiomatic Design of a Framework for the Comprehensive Optimization of Patient Flows in Hospitals. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2309265>
- Bhalerao, P., & Bargal, N. (2014). Product Design: Challenges and Evaluation. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 9(4), 26–28. <https://doi.org/10.9790/2834-09422628>
- Bhavesht Mistry, D. P. M. G., Drake, P., & Bhavesht Mistry, D. P. M. G. (1999). *Study and Scope of DFMA and GD&T in manufacturing process: A case study on Dual Plate Check Valve*. 1994(February), 1. <https://doi.org/10.13140/2.1.2294.8642>
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2010). *Product Design for Manufacture and Assembly*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420089288>
- Du, Y., Cao, H., Chen, X., & Wang, B. (2013). Reuse-oriented redesign method of used products based on axiomatic design theory and QFD. *Journal of Cleaner Production*, 39, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.032>
- Dwivedi, S. N., & Sobolewski, M. (1991). Concurrent Engineering: An Introduction. In *CAD/CAM Robotics and Factories of the Future '90* (pp. 3–16). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85838-3_1
- El-Haik, B. S. (2005). Axiomatic Quality. In *Axiomatic Quality: Integrating Axiomatic Design with Six-Sigma, Reliability, and Quality Engineering*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471714682>
- Elsaied, A., Soltan, H., & Hussein, M. (2020). Axiomatic Design for 'X': An Integrated Methodology for Product Design. (Dept. M. (Production)). *Bulletin of the Faculty of Engineering, Mansoura University*, 39(1), 1–7. <https://doi.org/10.21608/bfemu.2020.103089>
- Ferrer, I., Rios, J., & Ciurana, J. (2009). An approach to integrate manufacturing process information in part design phases. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(4), 2085–2091. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.05.009>
- Firmansyah, M. M., & Jakaria, R. B. (2023). Implementasi Design For Assembly (DFA) Pada Desain Produk Oven. *Jurnal PASTI (Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri)*, 17(2), 271. <https://doi.org/10.22441/pasti.2023.v17i2.012>
- Gibson, W. (2022). Product design and development. In *Integrated Functional Sanitation Value Chain: The role of the sanitation economy*. https://doi.org/10.2166/9781789061840_0019
- Ginting, R. (2022). *Perancangan dan Pengembangan Produk*. Medan: USU Press.
- Ginting, R. (2023). *DFMA (Design for Manufacture and Assembly) Teori dan Aplikasi*. Medan: USU Press.
- Giudice, F., Ballisteri, F., & Risitano, G. (2009). A concurrent design method based on DFMA-FEA integrated approach. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 17(3), 183–202. <https://doi.org/10.1177/1063293X09343337>
- Gonçalves-Coelho, A. M., Mourão, A. J. F., & Pereira, Z. L. (2005). Improving the use of QFD with axiomatic design. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 13(3), 233–239. <https://doi.org/10.1177/1063293X05056787>
- Gupta, M., & Kumar, S. (2019). Design efficiency analysis towards product improvement using DFMA. *2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization, ICMSAO 2019*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2019.8880339>
- Hager, T., Wafik, H., & Faouzi, M. (2017). Manufacturing system design based on axiomatic design: Case of assembly line. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(1), 111–139. <https://doi.org/10.3926/jiem.728>

- Huang, G. Q. (1996). *Design for X: concurrent engineering imperatives*. Retrieved from <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:109883540>
- Ishak, A., Ginting, R., & Siallagan, S. (2024). Application of quality function deployment (QFD) and axiomatic design method for product design: study case compost waste product. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 122(1), 31–41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4652>
- Ivanov, V., Pavlenko, I., Evtuhov, A., & Trojanowska, J. (2024). *Product Design*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44641-2_2
- Jang, B. S., Yang, Y. S., Song, Y. S., Yeun, Y. S., & Do, S. H. (2002). Axiomatic design approach for marine design problems. *Marine Structures*, 15(1), 35–56. [https://doi.org/10.1016/S0951-8339\(01\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0951-8339(01)00015-6)
- Johnson, M. D., & Kirchain, R. E. (2011). The importance of product development cycle time and cost in the development of product families. *Journal of Engineering Design*, 22(2), 87–112. <https://doi.org/10.1080/09544820902960058>
- Julaeha, L. S., & Yustiana. (2022). Design of Goods and Services in Developing Business. *EKONOMIKA45 : Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi Bisnis, Kewirausahaan*, 10(1), 135–142. Retrieved from <https://jurnaluniv45sby.ac.id/index.php/ekonomika/article/view/589>
- Krumenauer, F. Z., Matayoshi, C. T., Filho, M. S., Batalha, G. F., & Engineering, M. S. (2008). Concurrent engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 31(2), 690–698.
- Lee, G. B., & Badrul, O. (2014). Optimization for sustainable manufacturing based on axiomatic design principles: a case study of machining processes. *Advances in Production Engineering & Management*, 9(1), 31–43. <https://doi.org/10.14743/apem2014.1.174>
- Lu, W., Tan, T., Xu, J., Wang, J., Chen, K., Gao, S., & Xue, F. (2021). Design for manufacture and assembly (DFMA) in construction: the old and the new. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(1–2), 77–91. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1768505>
- Mollajan, A., Iranmanesh, H., Khezri, A. H., & Abazari, A. (2022). Effect of applying independence axiom of Axiomatic Design theory on performance of an Integrated Manufacturing Information System: a computer simulation modeling approach. *Simulation*, 98(7), 535–561. <https://doi.org/10.1177/00375497211062892>
- Musfiroh, H. (2020). Kajian komparatif perancangan dan produksi peralatan saji (Studi kasus CV Estetika Indonesia). *Productum: Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk)*, 3(8), 261–268. <https://doi.org/10.24821/productum.v3i8.3326>
- Naiju, C. D. (2021). DFMA for product designers: A review. *Materials Today: Proceedings*, 46(February 2021), 7473–7478. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.134>
- Prasad, B. (1996). *Concurrent Engineering Fundamentals, Vol I: Integrated Product and Process Organization* (Vol. 1). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2613.0005>
- Pullan, T. T., Bhasi, M., & Madhu, G. (2010). Application of concurrent engineering in manufacturing industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23(5), 425–440. <https://doi.org/10.1080/09511921003643152>
- Rauch, E., Matt, D. T., & Dallasega, P. (2016). Application of Axiomatic Design in Manufacturing System Design: A Literature Review. *Procedia CIRP*, 53, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.207>
- Sapuan, S. M. (2017). Concurrent Engineering, Product Design, and Development. In *Composite Materials*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802507-9.00002-7>
- Sapuan, S. M., & Mansor, M. R. (2014). Concurrent engineering approach in the development of composite products: A review. *Materials and Design*, 58, 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.059>
- Selvaraj, P., Radhakrishnan, P., & Adithan, M. (2009). An integrated approach to design for manufacturing and assembly based on reduction of product development time and cost. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42(1–2), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1580-8>
- Setiawan, A., Ginting, R., & Ishak, A. (2024). Literature Review of Concurrent Engineering in Kansei Engineering and Ergonomic. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 26(2), 137–144. <https://doi.org/10.32734/jsti.v26i2.14696>
- Sheikh, R., Abbasi, M., Talaei, A. A., & Tahmasbi, M. (2015). Dynamic Axiomatic Design (DAD): Applying the Independence Axiom in the Design of Social Systems. *Procedia CIRP*, 34, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.012>
- Shirwaiker, R. A., & Okudan, G. E. (2008). Triz and axiomatic design: A review of case-studies and a proposed synergistic use. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(1), 33–47. <https://doi.org/10.1007/s10845-007-0044-6>
- Sibanda, V., Mpofu, K., Trimble, J., & Kanganga, M. (2019). Engineering Design Featuring the Life Cycle Approach for Reconfigurable Machine Tool. *Procedia CIRP*, 84, 948–953. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.174>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104(August), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Stjepandić, J., Wognum, N., & J.C. Verhagen, W. (Eds.). (2015). *Concurrent Engineering in the 21st Century*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13776-6>
- Suh, N. (2001). *Axiomatic Design: Advances and Applications*.
- Suh, N. P., Cavique, M., & Timothy, J. (2021). Design Engineering and Science. In *Design Engineering and Science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49232-8>
- Syan, C. S., & Menon, U. (1994). *Concurrent Engineering: Concepts, Implementation, and Practice*. Chapman & Hall: Springer Science+Business Media Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1298-7>
- Widiyanti, W., & Tukiran, M. (2024). Customer Satisfaction in The Hospitality Sector: a Narrative Literature Review. *International Journal of Social and Management Studies (Ijosmas)*, 5(2), 11–17. Retrieved from <http://www.ijosmas.org>
- Yazid, S., Ginting, R., & Panjaitan, N. (2024). Integration of Design for Manufacture and Assembly with Product Design in Product Design Improvement: A Systematic Literature Review. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 26(2), 128–136. <https://doi.org/10.32734/jsti.v26i2.13643>
