

## **Rekonseptualisasi *Product Design and Development* dalam Era Digital dan Keberlanjutan: Tinjauan Sistematis dan Kerangka Integratif (2020-2025)**

**Raden Meina Widiastuti<sup>1\*)</sup>, Herdiansyah Gustira Pramudia Suryono<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Universitas Teknologi Bandung, Jl. Soekarno-Hatta No.378, Kota Bandung, 40235  
Email: r.meina@utb-univ.ac.id

<sup>2)</sup>Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No.1, Dayeuhkolot, Kab Bandung, 40257  
Email: herdiansyahgps@telkomuniversity.ac.id

\*) *Corresponding author*

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk merekonseptualisasi *Product Design and Development* (PDD) dalam konteks transformasi digital dan keberlanjutan melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap publikasi terindeks Scopus periode 2020–2025. Proses penelitian mengikuti protokol PRISMA 2020 guna memastikan ketelitian, transparansi, dan sistematika seleksi literatur. Dari 7.282 artikel awal yang teridentifikasi, proses penyaringan bertahap menghasilkan 301 artikel yang memenuhi kriteria kelayakan, dengan 120 artikel inti dianalisis secara mendalam melalui sintesis tematik. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya pergeseran paradigma dari pendekatan pengembangan produk yang berorientasi efisiensi manufaktur menuju sistem multidimensional yang terintegrasi. Lima dimensi utama teridentifikasi sebagai pembentuk lanskap PDD kontemporer, yaitu fokus keberlanjutan (*sustainability focus*), transformasi digital (*digital transformation*), inovasi proses (*process innovation*), pendekatan ekonomi sirkular (*circular approach*), dan integrasi rantai pasok (*supply chain integration*). Keberlanjutan dan digitalisasi muncul sebagai determinan strategis paling sentral yang berperan sebagai penggerak struktural dalam pengembangan produk modern. Temuan ini menegaskan adanya konvergensi antara kapabilitas digital, adaptabilitas organisasi, serta orientasi nilai jangka panjang. Secara teoretis, studi ini menawarkan kerangka integratif untuk menyatukan literatur yang terfragmentasi, sementara secara praktis memberikan arah strategis bagi organisasi dalam membangun sistem pengembangan produk yang adaptif, terdigitalisasi, dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *Product Design and Development*; Transformasi Digital; Keberlanjutan; Ekonomi Sirkular; *Agile Development*

### **PENDAHULUAN**

*Product Design and Development* (PDD) telah mengalami transformasi yang sangat mendalam dalam dua dekade terakhir, berevolusi dari disiplin yang didominasi pendekatan teknik menjadi domain multidimensional yang terintegrasi secara strategis. Pada fase awal, penelitian lebih banyak menekankan aspek kemudahan manufaktur, efisiensi biaya, serta model pengembangan terstruktur berbasis *stage-gate* (Gunasekaran & Ngai, 2004). Namun, pengembangan produk kontemporer kini beroperasi dalam lingkungan yang jauh lebih kompleks, yang dibentuk oleh transformasi digital, tuntutan keberlanjutan, prinsip ekonomi sirkular, serta volatilitas rantai pasok global (Tardio et al., 2023; Watz & Hallstedt, 2022).

Pada periode 2020–2025, bidang ini mengalami percepatan integrasi teknologi digital seperti sistem CAD canggih, *digital twin*, optimasi berbasis kecerdasan buatan, dan platform kolaborasi berbasis cloud ke dalam proses pengembangan produk (Piprani et al., 2024; Yun et al., 2023). Teknologi-teknologi tersebut memungkinkan simulasi waktu nyata, analitik prediktif, serta pemantauan siklus hidup produk secara menyeluruh, sehingga menggeser

paradigma pengembangan produk dari pendekatan linear menuju sistem yang berbasis data dan terus berkembang secara dinamis (Lauria et al., 2024; Tardio et al., 2023). Pada saat yang sama, metodologi agile dan lean semakin dominan, terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu siklus pengembangan, mempercepat inovasi, serta memperkuat kolaborasi lintas fungsi (Daraojimba et al., 2024; Ibeh et al., 2024).

Secara paralel, keberlanjutan telah bergeser dari sekadar pertimbangan tambahan dalam desain menjadi tujuan strategis utama. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa dampak lingkungan suatu produk sebagian besar ditentukan pada tahap desain, sehingga integrasi aspek keberlanjutan menjadi krusial bagi daya saing jangka panjang (Rihar & Kuar, 2021; Watz & Hallstedt, 2022). Integrasi *Life Cycle Assessment* (LCA), kerangka *eco-design*, dan prinsip desain sirkular telah mengubah prioritas desain tradisional dengan menekankan aspek ketahanan, kemudahan perbaikan, kemampuan remanufaktur, serta pemulihan material (Mesa, 2023; Suhariyanto et al., 2018). Selain itu, literatur ekonomi sirkular menekankan pentingnya penyelarasan arsitektur produk dengan model bisnis seperti *Product-as-a-Service* (Sumter et al., 2020), sementara kajian ketahanan rantai pasok menyoroti perlunya integrasi agilitas, keberlanjutan, dan manajemen risiko dalam perancangan sistem produk (Ivanov, 2020).

Meskipun terjadi ekspansi penelitian yang sangat pesat, literatur dalam bidang ini masih terfragmentasi ke dalam berbagai aliran tematik yang terpisah – seperti inovasi digital, desain berkelanjutan, pengembangan *agile*, ekonomi sirkular, manufaktur aditif, dan integrasi rantai pasok. Setiap dimensi telah banyak diteliti secara mendalam, namun kerangka integratif yang secara sistematis mensintesis keterkaitan antar dimensi tersebut masih relatif terbatas (Ibeh et al., 2024). Secara khusus, interaksi antara transformasi digital dan integrasi keberlanjutan, kebutuhan kapabilitas organisasi dalam implementasi agile-sirkular, serta keselarasan sistemik antara arsitektur produk dan ketahanan rantai pasok masih memerlukan sintesis komprehensif.

Dengan meningkatnya jumlah publikasi secara eksponensial – terbukti dari ribuan artikel terindeks Scopus dalam periode 2020–2025 – terdapat kebutuhan yang jelas akan *Systematic Literature Review* (SLR) yang terstruktur dan berbasis teori untuk memetakan evolusi penelitian, mengidentifikasi tema dominan, mengungkap dimensi riset yang berkembang, serta merumuskan arah penelitian masa depan yang integratif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap literatur kontemporer dalam bidang Product Design and Development dengan tujuan:

1. Mengidentifikasi distribusi dan evolusi tema penelitian dalam PDD.
2. Menganalisis fokus penelitian dominan serta pergeseran paradigma selama periode 2020–2025.
3. Mensintesis dimensi-dimensi kunci yang membentuk kerangka pengembangan produk kontemporer.
4. Mengidentifikasi kesenjangan penelitian serta merumuskan agenda riset masa depan.

Penelitian ini berkontribusi pada literatur dengan menyediakan sintesis integratif yang menghubungkan transformasi digital, integrasi keberlanjutan, implementasi ekonomi sirkular, metodologi agile, manufaktur aditif, serta ketahanan rantai pasok ke dalam satu perspektif konseptual yang terpadu. Dengan demikian, artikel ini tidak hanya memperkaya pengembangan teori dalam bidang PDD, tetapi juga memberikan wawasan strategis bagi organisasi yang ingin membangun kapabilitas pengembangan produk yang adaptif, terdigitalisasi, dan berorientasi pada keberlanjutan (Daraojimba et al., 2024; Watz & Hallstedt, 2022).

## METODOLOGI

### Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian **kajian teori** (*theoretical review*) dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)*. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan sintesis yang komprehensif, sistematis, dan transparan terhadap perkembangan penelitian dalam bidang *Product Design and Development (PDD)*. Proses penelitian mengikuti pedoman **PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)** untuk memastikan proses seleksi literatur dilakukan secara rasional, empiris, dan sistematis (Page et al., 2021).

Pendekatan ini bersifat rasional karena menggunakan kerangka kerja ilmiah yang terstruktur; empiris karena berbasis pada artikel-artikel ilmiah terindeks; dan sistematis karena mengikuti tahapan identifikasi, penyaringan, evaluasi kelayakan, dan inklusi secara bertahap. Penelitian dilaksanakan pada periode **Januari-Februari 2026**, dengan proses pencarian dan pengolahan data dilakukan secara daring melalui basis data Scopus.

### Subjek Penelitian (Populasi dan Sampel)

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh artikel ilmiah terindeks Scopus yang membahas topik *Product Design, Product Development, dan New Product Development* dalam rentang waktu **2020-2025** pada bidang teknik (*engineering*).

Berdasarkan hasil pencarian menggunakan *query Boolean* yang telah ditentukan, diperoleh **7.282 artikel** sebagai populasi awal. Sampel penelitian ditentukan melalui proses seleksi bertahap berbasis PRISMA, dengan kriteria inklusi dan eksklusi sebagai berikut:

#### Kriteria Inklusi:

1. Artikel jurnal (*journal article*) yang telah dipublikasikan dalam tahap final.
2. Berbahasa Inggris.
3. Terindeks Scopus dalam bidang teknik.
4. Secara eksplisit membahas proses desain atau pengembangan produk.

#### Kriteria Eksklusi:

1. Artikel yang tidak memiliki relevansi langsung dengan kerangka pengembangan produk.
2. Studi yang hanya berfokus pada aspek pemasaran atau perilaku konsumen tanpa integrasi desain.
3. Artikel yang tidak memiliki kejelasan metodologis.
4. Studi yang bersifat sangat sektoral tanpa kontribusi konseptual umum.

Melalui proses penyaringan dan evaluasi kelayakan, diperoleh **301 artikel** yang memenuhi kriteria untuk sintesis awal, dan selanjutnya dipilih **120 artikel inti** sebagai sampel analisis mendalam berdasarkan relevansi tematik dan kontribusi konseptual.

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui **penelusuran literatur secara sistematis** pada basis data Scopus menggunakan kombinasi kata kunci berikut: "*Product Design*", "*Product Development*", "*New Product Development*" dan "*Product Design and Development*".

Kata kunci dikombinasikan menggunakan operator *Boolean* (AND, OR) serta pembatasan pada subjek area teknik, jenis dokumen artikel, bahasa Inggris, dan periode 2020-2025. Seluruh artikel yang diperoleh kemudian diunduh metadata-nya dan didokumentasikan dalam bentuk tabel ekstraksi data untuk memudahkan proses analisis.

### Alat Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini dirancang secara sistematis untuk menjamin transparansi dan ketelusuran proses kajian. Pertama, *query* pencarian pada basis data Scopus digunakan sebagai alat utama untuk mengidentifikasi artikel yang relevan sesuai dengan kata kunci dan kriteria yang telah ditetapkan. Kedua, protokol PRISMA 2020 diterapkan sebagai kerangka seleksi literatur guna memastikan proses penyaringan dan pemilihan studi dilakukan secara terstruktur, objektif, dan dapat direplikasi. Ketiga, peneliti menggunakan lembar ekstraksi data (*data extraction sheet*) yang memuat informasi penting setiap artikel, meliputi identitas publikasi (penulis, tahun, dan jurnal), tema dan fokus penelitian, metodologi yang digunakan, kontribusi utama, serta kesenjangan riset yang diidentifikasi. Kombinasi ketiga instrumen ini memastikan bahwa proses pengumpulan dan pengolahan data berlangsung secara rasional, empiris, dan terdokumentasi dengan baik sesuai standar penelitian ilmiah.

### Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif melalui *thematic analysis* dengan pendekatan induktif dan deduktif untuk menangkap pola, kecenderungan, dan struktur konseptual dalam literatur yang ditelaah. Proses analisis diawali dengan *descriptive analysis* untuk memetakan distribusi publikasi berdasarkan tahun, tema, dan arah perkembangan riset, kemudian dilanjutkan dengan *thematic coding* yang mengelompokkan artikel ke dalam klaster utama seperti *Agile & Lean Development*, *Sustainable Product Design*, *Digital Innovation & Industry 4.0*, *DfM/DfMA & PLM*, *Circular Economy*, *Additive Manufacturing*, *Green Innovation*, dan *Supply Chain Integration*. Tahap akhir berupa *integrative synthesis* dilakukan untuk mengidentifikasi keterkaitan antar tema, pergeseran paradigma, serta dimensi penelitian kunci yang membentuk lanskap kontemporer pengembangan produk. Seluruh proses dilakukan melalui pembacaan berulang dan perbandingan lintas studi guna memastikan konsistensi kategorisasi serta ketepatan interpretasi secara sistematis dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

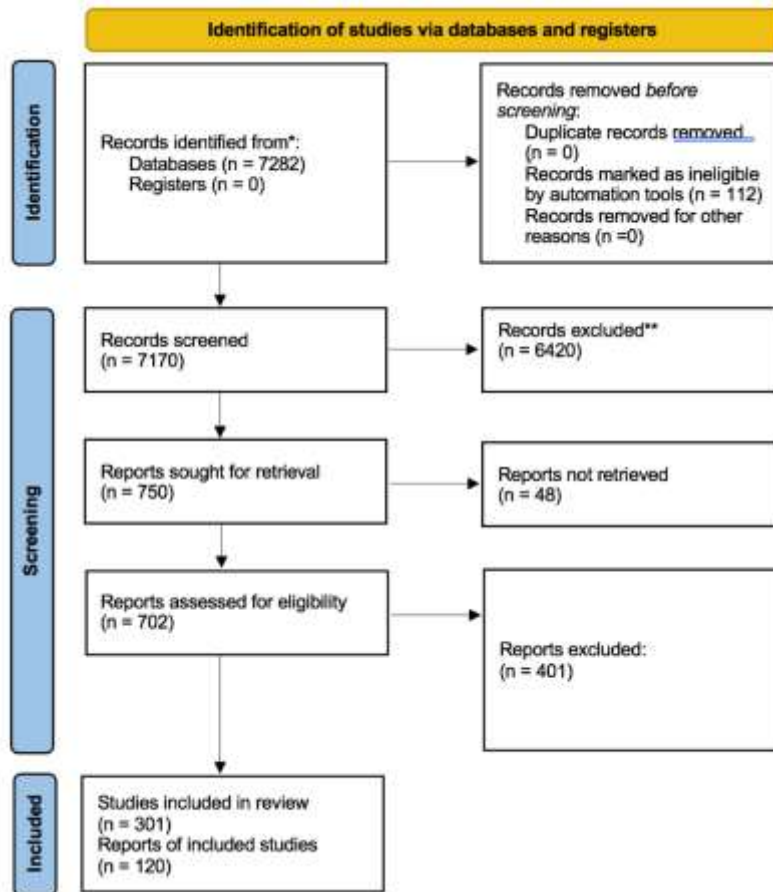
### Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan penetapan fokus dan perumusan pertanyaan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan strategi pencarian literatur berbasis Scopus yang terstruktur. Artikel yang diperoleh diseleksi melalui proses identifikasi dan penyaringan menggunakan protokol PRISMA, sebelum dilakukan ekstraksi serta pengkodean data secara sistematis. Tahap berikutnya meliputi analisis tematik dan sintesis konseptual untuk mengidentifikasi pola, keterkaitan, dan pergeseran paradigma dalam literatur, yang kemudian menjadi dasar perumusan kesimpulan dan agenda penelitian mendatang. Rangkaian tahapan ini memastikan bahwa penelitian dilaksanakan secara rasional, empiris, dan sistematis sesuai prinsip metode ilmiah.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Deskripsi Hasil Seleksi Literatur

Berdasarkan proses seleksi menggunakan protokol PRISMA, dari 7.282 artikel awal yang teridentifikasi melalui basis data Scopus (2020–2025), dilakukan penyaringan bertahap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Setelah proses penyaringan judul, abstrak, serta evaluasi kelayakan teks penuh, diperoleh 301 artikel yang relevan secara substansial, dan selanjutnya dipilih 120 artikel inti untuk analisis mendalam dan sintesis tematik.



Gambar 1. Protokol Prisma

Tingkat reduksi yang progresif dan signifikan ini memperlihatkan dua temuan penting secara metodologis dan substantif. Pertama, literatur *Product Design and Development* (PDD) menunjukkan tingkat fragmentasi yang tinggi dan tersebar pada berbagai pendekatan disipliner, mulai dari perspektif teknik manufaktur, keberlanjutan, hingga transformasi digital (Watz & Hallstedt, 2022; Tardio et al., 2023). Fragmentasi ini menjelaskan mengapa seleksi berbasis relevansi konseptual menjadi krusial dalam proses sintesis literatur sistematis (Page et al., 2021). Kedua, hanya sebagian kecil publikasi yang secara eksplisit mengintegrasikan dimensi multidimensional – seperti *agility*, *digital transformation*, *circularity*, *sustainability*, dan *supply chain integration* – dalam satu kerangka pengembangan produk yang koheren (Ibeh et al., 2024; Ivanov, 2020; Mesa, 2023). Sebagian besar studi masih berfokus pada satu atau dua dimensi secara terpisah, sehingga integrasi sistemik masih relatif terbatas dalam literatur kontemporer. Dengan demikian, hasil PRISMA ini tidak hanya mencerminkan proses seleksi yang ketat dan transparan, tetapi juga menegaskan adanya kesenjangan konseptual yang signifikan, yang memperkuat urgensi kontribusi teoretis studi ini dalam menyusun kerangka integratif PDD.

Secara keseluruhan, penerapan protokol PRISMA menunjukkan rigor metodologis yang tinggi melalui tahapan identifikasi, penyaringan, dan evaluasi kelayakan yang terdokumentasi secara sistematis (Page et al., 2021). Proporsi artikel yang dianalisis secara mendalam – 120 dari 7.282 ( $\pm 1,65\%$ ) – mengindikasikan tingkat selektivitas yang ketat, sehingga sintesis yang dihasilkan berfokus pada studi yang benar-benar relevan dan memiliki kualitas konseptual memadai. Pendekatan ini meningkatkan kredibilitas temuan serta

memperkuat posisi artikel dalam memenuhi standar transparansi dan akuntabilitas metodologis yang dipersyaratkan oleh jurnal bereputasi tinggi.

Hasil seleksi menunjukkan bahwa dalam lima tahun terakhir terjadi peningkatan signifikan penelitian pada bidang *Product Design and Development (PDD)*, khususnya yang terintegrasi dengan transformasi digital dan keberlanjutan. Hal ini mengindikasikan bahwa pengembangan produk tidak lagi dipandang sebagai proses teknis semata, melainkan sebagai sistem strategis yang multidimensional.

### **Tren Publikasi dan Perkembangan Waktu**

Analisis longitudinal terhadap publikasi *Product Design and Development (PDD)* periode 2020–2025 menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dekade sebelumnya, yang mengindikasikan terjadinya titik balik struktural (*structural inflection point*) dalam evolusi bidang ini. Pertumbuhan tersebut tidak sekadar merepresentasikan ekspansi kuantitatif literatur, tetapi mencerminkan pergeseran paradigma dari pendekatan berbasis efisiensi manufaktur menuju kerangka multidimensional yang mengintegrasikan digitalisasi, keberlanjutan, dan ketahanan sistem (Ibeh et al., 2024; Watz & Hallstedt, 2022). Dengan demikian, PDD telah berevolusi dari disiplin teknik yang berorientasi proses menjadi domain inovasi sosio-teknis strategis yang ditopang oleh kapabilitas digital dan sistemik (Tardio et al., 2023).

Akselerasi ini dipengaruhi oleh beberapa dinamika global. Pertama, transformasi digital berbasis Industry 4.0 telah merekonfigurasi arsitektur pengembangan produk melalui integrasi CAD cerdas, *digital twins*, *AI-driven optimization*, serta platform kolaboratif berbasis *cloud* (Piprani et al., 2024; Yun et al., 2023). Teknologi digital kini berfungsi sebagai *meta-enabler* yang memungkinkan simultanitas antara desain, simulasi, manufaktur, dan evaluasi keberlanjutan (Tardio et al., 2023). Kedua, meningkatnya tekanan regulasi dan agenda ESG mendorong internalisasi prinsip *sustainability* dan *circular economy* sejak tahap konseptual desain, sehingga memperluas fokus penelitian pada *eco-design*, *lifecycle assessment*, dan *circular product architecture* (Mesa, 2023; Sumter et al., 2020). Ketiga, disrupsi rantai pasok global pascapandemi memperlihatkan keterbatasan sistem *lean* tradisional, sehingga literatur PDD semakin mengintegrasikan konsep *resilience*, *agility*, dan *supply chain viability* dalam kerangka desain produk (Ivanov, 2020). Keempat, tuntutan personalisasi dan transparansi dari konsumen memperkuat adopsi modular *design* dan *mass customization* sebagai respons strategis dalam pengembangan produk (Gunasekaran & Ngai, 2004).

Secara konseptual, temuan ini menunjukkan konvergensi tiga arus utama: akselerasi digital, arus utama keberlanjutan, dan restrukturisasi sistem rantai pasok. Tantangan penelitian ke depan bukan lagi pengembangan metodologi parsial (*agile*, *lean*, *DfMA*, *circular*, atau digital) secara terpisah, melainkan pembangunan kerangka integratif yang mampu mensintesis dimensi-dimensi tersebut secara sistemik (Ibeh et al., 2024). Oleh karena itu, peningkatan publikasi pada periode 2020–2025 merepresentasikan reorientasi fundamental bidang PDD menuju paradigma pengembangan produk yang adaptif, berkelanjutan, dan berbasis sistem.

### **Distribusi Tema Penelitian**

Berdasarkan klasifikasi tematik terhadap 120 artikel inti, diperoleh delapan klaster utama penelitian:

Tabel 1. Distribusi Tema Penelitian Product Design and Development (2020–2025)

Tema Penelitian	Jumlah Artikel	Persentase (%)
Agile & Lean Manufacturing	12	10.0
Sustainable Product Design	9	7.5
Digital Innovation & Industry 4.0	8	6.7
DfM/DfMA & PLM	8	6.7
Additive Manufacturing	7	5.8
Circular Economy & Design	6	5.0
Supply Chain Management	5	4.2
Green Innovation	5	4.2

Tabel 1 menunjukkan bahwa tema *Agile & Lean Manufacturing* masih menjadi domain dengan kontribusi publikasi tertinggi dalam lima tahun terakhir. Dominasi ini merefleksikan kebutuhan industri terhadap percepatan siklus pengembangan produk, reduksi pemborosan, serta peningkatan *time-to-market*, sebagaimana ditegaskan oleh Ibeh et al., 2024. Pendekatan agile dan lean terbukti memberikan fleksibilitas iteratif sekaligus kontrol proses yang sistematis. Namun demikian, meskipun tetap dominan secara kuantitatif, proporsi relatifnya terhadap keseluruhan tema mulai menunjukkan kecenderungan stabil, bukan lagi eksponensial. Hal ini mengindikasikan bahwa agile-lean telah memasuki fase maturitas konseptual dan lebih banyak berperan sebagai fondasi metodologis dibandingkan sebagai frontier penelitian baru.

Sebaliknya, pertumbuhan paling signifikan terlihat pada tema *Digital Innovation & Industry 4.0* serta *Sustainable Product Design*. Peningkatan ini menunjukkan terjadinya pergeseran paradigma dari efisiensi proses menuju integrasi sistem digital dan keberlanjutan sebagai orientasi strategis pengembangan produk. Transformasi digital tidak lagi diposisikan sebagai alat bantu desain, melainkan sebagai *architectural backbone* yang menghubungkan desain, simulasi, manufaktur, dan manajemen siklus hidup produk secara real-time (Piprani et al., 2024; Tardio et al., 2023). Pada saat yang sama, tekanan regulatif dan tuntutan ESG mendorong internalisasi prinsip *sustainability* dan *circular economy* dalam tahap konseptual desain (Watz & Hallstedt, 2022). Integrasi ini memperluas ruang lingkup PDD dari pendekatan teknis-operasional menuju sistem inovasi yang bersifat sosio-teknis dan berorientasi nilai jangka panjang.

Secara konseptual, distribusi tema tersebut memperlihatkan konvergensi tiga arus utama: (1) efisiensi berbasis *agile-lean*, (2) akselerasi digital berbasis Industry 4.0, dan (3) keberlanjutan serta circularity sebagai kerangka normatif baru. Tantangan ke depan bukan lagi mengembangkan masing-masing pendekatan secara terpisah, melainkan membangun kerangka integratif yang mampu mensintesis efisiensi operasional, kapabilitas digital, dan tujuan keberlanjutan dalam satu arsitektur pengembangan produk yang koheren. Dengan demikian, dinamika lima tahun terakhir mengindikasikan bahwa PDD sedang bertransisi menuju paradigma pengembangan produk yang adaptif, terhubung secara digital, dan berorientasi keberlanjutan sistemik.

### Fokus Penelitian Lima Tahun Terakhir

Analisis terhadap publikasi periode 2020–2025 menunjukkan terjadinya pergeseran substantif dalam orientasi penelitian *Product Design and Development* (PDD). Jika dekade sebelumnya didominasi oleh efisiensi proses dan optimasi manufaktur, maka lima tahun

terakhir memperlihatkan konsolidasi fokus pada lima dimensi strategis: (1) integrasi *digital design tools* (CAD, simulasi, AI, digital twin), (2) *sustainability-driven product development*, (3) implementasi ekonomi sirkular, (4) *supply chain resilience* dan *agility*, serta (5) optimasi desain berbasis AI (Tardio et al., 2023; Piprani et al., 2024; Watz & Hallstedt, 2022). Pergeseran ini menunjukkan bahwa PDD semakin dipahami sebagai sistem terintegrasi berbasis teknologi dan nilai jangka panjang, bukan sekadar aktivitas teknis berbasis manufaktur.

Tema *Digital Innovation & Industry 4.0* dan *Agile & Lean Manufacturing* menunjukkan frekuensi tertinggi dalam periode terbaru (Ibeh et al., 2024; Daraojimba et al., 2024). Hal ini mengindikasikan bahwa organisasi tidak lagi memandang digitalisasi dan *agility* sebagai pendekatan terpisah, melainkan sebagai sistem yang saling memperkuat. Transformasi digital memungkinkan visualisasi, simulasi, dan optimasi desain secara *real-time* melalui AI dan *digital twin* (Yun et al., 2023; Piprani et al., 2024), sementara pendekatan agile menyediakan struktur organisasi yang adaptif untuk memanfaatkan kapabilitas tersebut secara efektif (Ibeh et al., 2024). Dengan demikian, integrasi digital-agile menjadi fondasi baru dalam arsitektur pengembangan produk kontemporer.

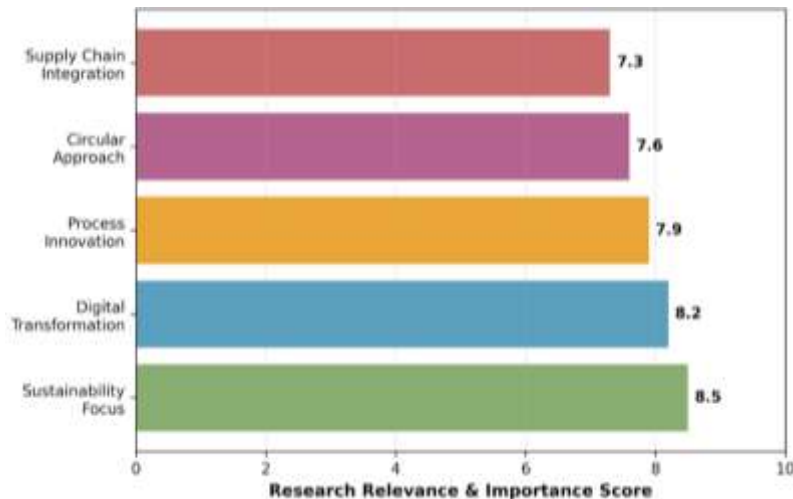
Di sisi lain, peningkatan signifikan pada tema *Sustainable Product Design* dan *Circular Economy* menunjukkan bahwa keberlanjutan telah bergeser dari sekadar isu normatif menjadi determinan strategis dalam pengambilan keputusan desain (Mesa, 2023; Sumter et al., 2020). Produk tidak lagi dirancang semata untuk performa teknis dan biaya, tetapi juga untuk efisiensi material, *lifecycle extension*, serta *end-of-life recovery* (Watz & Hallstedt, 2022). Tren ini sejalan dengan temuan Du, Zhang, dan Wang (2026) yang menegaskan bahwa transformasi digital secara signifikan meningkatkan kapasitas inovasi hijau dan desain berkelanjutan.

Selain itu, meningkatnya perhatian terhadap *supply chain resilience* mencerminkan respons akademik terhadap disrupsi global, seperti pandemi dan ketidakpastian geopolitik (Ivanov, 2020). Penelitian PDD kini semakin mengadopsi perspektif sistemik dengan mengintegrasikan desain produk, manufaktur, dan jaringan pasok dalam satu kerangka adaptif dan berorientasi keberlanjutan (Gupta et al., 2018).

Secara keseluruhan, fokus penelitian 2020–2025 menandai pergeseran dari optimasi fungsional menuju integrasi sistem digital-berkelanjutan yang berorientasi pada ketahanan dan penciptaan nilai jangka panjang (Ibeh et al., 2024; Tardio et al., 2023). Paradigma ini menegaskan bahwa masa depan PDD terletak pada konvergensi teknologi digital, *agility* organisasi, dan strategi keberlanjutan yang terintegrasi secara sistemik.

### **Dimensi Kunci Penelitian (Key Research Dimensions)**

Sintesis tematik menghasilkan lima dimensi utama (gambar 2) yang membentuk lanskap penelitian PDD kontemporer:



Gambar 2. Key Research Dimensions in Product Design and Development

Sintesis tematik terhadap artikel yang terpilih menghasilkan lima dimensi utama yang membentuk lanskap penelitian *Product Design and Development* (PDD) kontemporer, yaitu *Sustainability Focus* (8,5), *Digital Transformation* (8,2), *Process Innovation* (7,9), *Circular Approach* (7,6), dan *Supply Chain Integration* (7,3). Perbedaan skor ini tidak sekadar menunjukkan frekuensi kemunculan tema, tetapi juga mencerminkan tingkat sentralitas konseptual masing-masing dimensi dalam membentuk paradigma pengembangan produk lima tahun terakhir.

Dimensi *Sustainability Focus* memperoleh skor tertinggi, menandakan bahwa keberlanjutan telah bergeser dari atribut tambahan menjadi inti strategi desain produk. Literatur menunjukkan bahwa sebagian besar dampak lingkungan ditentukan pada tahap konseptual desain, sehingga integrasi prinsip keberlanjutan sejak awal siklus pengembangan menjadi determinan kinerja jangka panjang (Watz & Hallstedt, 2022). Keberlanjutan kini tidak lagi diposisikan sebagai kompromi terhadap efisiensi biaya, melainkan sebagai sumber keunggulan kompetitif melalui pengurangan material, peningkatan efisiensi energi, dan diferensiasi nilai pasar.

Sementara itu, *Digital Transformation* menempati posisi kedua sebagai enabler struktural yang memungkinkan integrasi simultan antara efisiensi, kustomisasi, dan pengurangan dampak lingkungan. Teknologi seperti CAD cerdas, *digital twins*, dan *AI-driven optimization* memperluas kemampuan organisasi dalam melakukan simulasi dan pengambilan keputusan berbasis data secara *real-time* (Tardio et al., 2023). Dengan demikian, digitalisasi bukan sekadar alat operasional, tetapi infrastruktur sistemik yang memperkuat kapabilitas desain adaptif.

Dimensi *Process Innovation* mencerminkan evolusi metodologi *agile* dan *lean* menuju sistem pengembangan yang iteratif dan kolaboratif. Namun, skor yang relatif lebih rendah dibanding dua dimensi sebelumnya menunjukkan bahwa inovasi proses kini lebih berfungsi sebagai fondasi operasional daripada frontier konseptual baru. Sebaliknya, *Circular Approach* dan *Supply Chain Integration* memperlihatkan meningkatnya perhatian terhadap perspektif sistemik, di mana desain produk dipahami sebagai bagian dari ekosistem nilai yang lebih luas, mencakup pemulihan material dan ketahanan jaringan pasok.

Secara keseluruhan, lima dimensi ini menunjukkan konvergensi menuju paradigma PDD yang terintegrasi: berorientasi keberlanjutan, didukung digitalisasi, adaptif secara proses, serta terkoneksi dalam sistem rantai nilai global.

## Integrasi Multidimensional dalam Product Development

Salah satu temuan paling signifikan dari sintesis literatur ini adalah munculnya integrasi multidimensional dalam *Product Design and Development* (PDD). Jika penelitian sebelumnya cenderung mengkaji pendekatan secara terpisah—misalnya lean untuk efisiensi proses, sustainability untuk dampak lingkungan, atau digitalisasi untuk optimasi teknis—maka studi periode 2020–2025 menunjukkan kecenderungan kuat menuju integrasi simultan berbagai pendekatan dalam satu arsitektur pengembangan produk (Ibeh et al., 2024; Watz & Hallstedt, 2022). Pergeseran ini menandai transformasi PDD dari pendekatan fungsional menuju pendekatan sistemik berbasis integrasi kapabilitas.

Integrasi ini terlihat dalam kombinasi *agile methodology* dengan *digital tools*, di mana struktur organisasi yang iteratif dan adaptif memanfaatkan kapabilitas simulasi *real-time*, AI-driven analytics, serta *digital twins* untuk mempercepat validasi desain (Tardio et al., 2023; Piprani et al., 2024). Digitalisasi memperluas kapasitas eksperimen dan pengujian berbasis data, sementara *agile* menyediakan kerangka koordinasi lintas fungsi yang memungkinkan respons cepat terhadap perubahan (Daraojimba et al., 2024). Dengan demikian, hubungan keduanya bersifat komplementer, bukan substitutif.

Pada dimensi keberlanjutan, literatur menunjukkan integrasi antara *sustainability* dan *circular economy* sebagai pendekatan normatif baru dalam desain produk (Mesa, 2023; Sumter et al., 2020). Desain tidak lagi hanya berorientasi pada performa dan biaya, tetapi juga pada *lifecycle extension*, modularitas, serta kemampuan pemulihan material. Integrasi ini memperlihatkan bahwa keberlanjutan telah berevolusi dari praktik mitigatif menjadi strategi sistemik yang terinternalisasi dalam arsitektur produk (Watz & Hallstedt, 2022).

Selain itu, integrasi antara *supply chain resilience* dan *digital transparency* menunjukkan pergeseran perspektif dari desain sebagai aktivitas internal perusahaan menuju desain sebagai bagian dari ekosistem jaringan nilai yang lebih luas (Ivanov, 2020). Pemanfaatan IoT, *blockchain*, dan *platform* kolaboratif memungkinkan visibilitas lintas rantai pasok, sehingga desain produk semakin mempertimbangkan risiko global dan adaptabilitas distribusi (Piprani et al., 2024). Integrasi AI dengan *process optimization* semakin memperkuat paradigma berbasis data dalam pengambilan keputusan desain (Yun et al., 2023).

Secara konseptual, temuan ini menandai pergeseran dari paradigma fungsional menuju paradigma sistemik yang memandang PDD sebagai konfigurasi kapabilitas dinamis lintas dimensi (Ibeh et al., 2024). Tantangan penelitian ke depan terletak pada pengembangan kerangka integratif yang mampu menyatukan dimensi-dimensi tersebut secara koheren dan terukur.

## Diskusi Teoretis

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa *Product Design and Development* (PDD) telah mengalami pergeseran konseptual dari pendekatan berbasis manufaktur menuju sistem strategis yang ditopang oleh kapabilitas dinamis organisasi (Ibeh et al., 2024; Tardio et al., 2023). Integrasi digitalisasi, keberlanjutan, dan agilitas bukan lagi sekadar kombinasi operasional, melainkan representasi dari kemampuan organisasi untuk beradaptasi dalam lingkungan yang kompleks dan tidak pasti (Daraojimba et al., 2024; Watz & Hallstedt, 2022).

Dari perspektif *Dynamic Capabilities Theory*, organisasi yang berhasil mengintegrasikan teknologi digital, prinsip *sustainability*, dan metodologi *agile* menunjukkan kapasitas *sensing* terhadap perubahan pasar dan regulasi, *seizing* melalui inovasi berbasis data, serta *reconfiguring* melalui restrukturisasi proses dan arsitektur produk (Ibeh et al., 2024). Transformasi digital memperkuat kemampuan analitis dan prediktif melalui pemanfaatan AI,

*digital twins*, dan simulasi berbasis data (Piprani et al., 2024; Yun et al., 2023), sementara *sustainability* memberikan arah normatif jangka panjang yang terinternalisasi dalam keputusan desain (Mesa, 2023; Watz & Hallstedt, 2022). Dengan demikian, PDD modern berfungsi sebagai arena konkret di mana kapabilitas dinamis diuji dan dikembangkan.

Perspektif *Socio-Technical Systems* juga memperoleh dukungan empiris melalui temuan ini. Pengembangan produk kontemporer tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, tetapi pada orkestrasi simultan antara manusia, sistem digital, dan struktur organisasi (Tardio et al., 2023). Integrasi AI dalam desain, misalnya, tetap membutuhkan interpretasi dan keputusan strategis dari tim lintas fungsi (Yun et al., 2023). Hal ini menegaskan bahwa keberhasilan PDD bukan semata-mata hasil adopsi teknologi, melainkan hasil koherensi antara dimensi teknis dan sosial dalam organisasi (Daraojimba et al., 2024).

Selanjutnya, temuan ini memperkuat konsep *Sustainability-Competitiveness Nexus*, di mana keberlanjutan tidak lagi dipandang sebagai beban regulatif, tetapi sebagai sumber diferensiasi dan efisiensi (Alshami & Rashid, 2021). Desain yang mempertimbangkan *lifecycle optimization* dan pemulihan material terbukti mampu meningkatkan efisiensi sumber daya sekaligus reputasi pasar (Mesa, 2023; Sumter et al., 2020).

Meskipun demikian, beberapa kesenjangan penelitian masih terlihat. Kerangka implementasi terintegrasi lintas dimensi masih terbatas dan cenderung fragmentaris (Ibeh et al., 2024). Adaptasi UKM terhadap pendekatan *digital-sustainable* juga belum banyak dieksplorasi secara empiris (Leite & Braz, 2016). Selain itu, metodologi pengukuran biaya siklus hidup yang terintegrasi dengan indikator keberlanjutan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut (Gupta et al., 2018). Celah ini membuka ruang penelitian lanjutan untuk membangun model integratif yang lebih komprehensif dan aplikatif.

## Implikasi

### 1. Implikasi Teoretis

Temuan penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dengan mengartikulasikan *Product Design and Development* (PDD) sebagai sistem multidimensional yang terintegrasi, bukan sekadar rangkaian aktivitas teknis yang terpisah. Model berbasis lima dimensi—keberlanjutan, transformasi digital, inovasi proses, pendekatan sirkular, dan integrasi rantai pasok—menunjukkan bahwa evolusi PDD bergerak menuju konfigurasi kapabilitas yang bersifat sistemik dan saling terkait. Konseptualisasi ini memperkaya literatur dengan memosisikan PDD sebagai arena aktualisasi kapabilitas dinamis organisasi, di mana proses *sensing, seizing, dan reconfiguring* terwujud dalam keputusan desain dan arsitektur produk.

Lebih jauh, penelitian ini mengusulkan bahwa keberlanjutan dan digitalisasi tidak dapat lagi dipahami sebagai domain tematik terpisah, melainkan sebagai dimensi yang secara simultan membentuk logika pengembangan produk. Dengan demikian, kontribusi teoretis utama studi ini terletak pada upaya menyatukan literatur yang sebelumnya terfragmentasi ke dalam kerangka integratif yang koheren dan dapat dijadikan landasan penelitian lanjutan, khususnya dalam pengembangan model implementasi terintegrasi lintas dimensi.

### 2. Implikasi Praktis

Secara praktis, hasil penelitian ini menegaskan bahwa organisasi perlu menggeser pendekatan pengembangan produk dari orientasi parsial menuju strategi terintegrasi. Pertama, integrasi *sustainability metrics* dalam *design objectives* menjadi keharusan, bukan pilihan, mengingat sebagian besar dampak lingkungan ditentukan pada tahap konseptual desain. Kedua, investasi pada kapabilitas digital—seperti simulasi berbasis data, AI, dan platform kolaboratif—perlu dipandang sebagai infrastruktur strategis jangka panjang yang memungkinkan pengambilan keputusan desain yang lebih adaptif dan berbasis bukti.

Ketiga, struktur organisasi yang mendukung kolaborasi lintas fungsi dan pendekatan agile menjadi prasyarat untuk memaksimalkan manfaat digitalisasi dan inovasi berkelanjutan. Keempat, pengembangan kemitraan rantai pasok yang resilien dan transparan semakin penting dalam menghadapi ketidakpastian global. Secara keseluruhan, implikasi ini menegaskan bahwa keberhasilan PDD kontemporer tidak ditentukan oleh keunggulan pada satu dimensi, melainkan oleh kemampuan organisasi untuk mengintegrasikan berbagai kapabilitas secara harmonis dan berkelanjutan.

### **Keterbatasan Penelitian**

Meskipun penelitian ini telah dilaksanakan secara sistematis menggunakan protokol PRISMA 2020, beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam menafsirkan temuan. Pertama, sumber data dibatasi pada artikel jurnal terindeks Scopus, berbahasa Inggris, dan berada dalam subjek teknik. Pembatasan ini berpotensi mengecualikan kontribusi relevan dari disiplin lain seperti manajemen, inovasi, atau kebijakan publik, serta publikasi pada basis data berbeda. Selain itu, fokus periode 2020–2025 dipilih untuk menangkap dinamika mutakhir, namun konsekuensinya adalah kontribusi konseptual penting dari periode sebelumnya tidak dianalisis secara mendalam.

Di samping itu, meskipun proses seleksi dan pengelompokan tema dilakukan secara terstruktur dan terdokumentasi, klasifikasi tematik tetap mengandung unsur interpretatif yang tidak sepenuhnya terlepas dari subjektivitas peneliti. Oleh karena itu, generalisasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati, khususnya dalam konteks perbedaan sektor industri, tingkat kematangan digital, dan variasi lingkungan regulasi antar wilayah. Keterbatasan ini sekaligus membuka ruang bagi penelitian lanjutan yang lebih luas dan komparatif untuk memperkaya pemahaman mengenai evolusi *Product Design and Development* secara global.

### **Agenda Penelitian Mendatang**

Berdasarkan temuan penelitian, agenda riset mendatang perlu diarahkan pada pengembangan kerangka implementasi terintegrasi yang mampu menggabungkan digitalisasi, keberlanjutan, dan agilitas dalam satu model operasional yang terukur dan aplikatif. Selain itu, penelitian empiris pada usaha kecil dan menengah (UKM) masih relatif terbatas, padahal karakteristik sumber daya dan kapabilitas UKM berbeda secara signifikan dibandingkan perusahaan besar. Perluasan studi kuantitatif mengenai hubungan antara integrasi multidimensional PDD dan kinerja organisasi, khususnya terkait biaya siklus hidup dan kinerja keberlanjutan, juga menjadi kebutuhan penting untuk memperkuat validasi empiris.

Di samping itu, penelitian lintas negara dan lintas sektor diperlukan guna memahami variasi implementasi PDD dalam konteks perbedaan regulasi, tingkat kematangan digital, serta dinamika pasar. Secara keseluruhan, arah penelitian mendatang perlu menekankan penguatan model integratif yang tidak hanya konseptual, tetapi juga teruji secara empiris, sehingga mampu menjembatani kesenjangan antara pengembangan teori dan praktik industri secara berkelanjutan.

### **SIMPULAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi tema, fokus penelitian dominan, serta dimensi kunci yang membentuk perkembangan *Product Design and Development* (PDD) periode 2020–2025. Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review*, dapat disimpulkan bahwa PDD telah berevolusi menuju paradigma integratif yang ditopang oleh lima dimensi utama, yaitu keberlanjutan, transformasi digital, inovasi proses (*agile-lean*),

pendekatan sirkular, dan integrasi rantai pasok. Keberlanjutan dan digitalisasi muncul sebagai determinan strategis paling sentral, sementara *agile-lean* berperan sebagai fondasi operasional yang memungkinkan adaptabilitas sistem. Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan produk kontemporer tidak lagi berorientasi pada efisiensi semata, melainkan pada integrasi simultan antara kapabilitas teknologi, tanggung jawab lingkungan, dan ketahanan sistem nilai global.

Secara konseptual, penelitian ini menegaskan bahwa masa depan PDD bergantung pada kemampuan organisasi mengintegrasikan berbagai pendekatan secara sistemik, bukan mengimplementasikannya secara terpisah. Oleh karena itu, kontribusi utama studi ini terletak pada penyusunan kerangka integratif yang dapat menjadi dasar pengembangan model implementasi dan penelitian lanjutan.

Dalam konteks pengembangan pengajaran, temuan ini memiliki implikasi penting terhadap desain kurikulum di bidang teknik dan manajemen inovasi. Pembelajaran PDD perlu diperluas dari pendekatan teknis-konvensional menuju pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan *sustainability*, *digital tools* (CAD, simulasi, AI), prinsip ekonomi sirkular, serta manajemen rantai pasok resilien. Selain itu, metode pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) dan *design thinking* yang menekankan kolaborasi lintas fungsi menjadi semakin relevan untuk membangun kompetensi sistemik mahasiswa. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada penguatan literatur akademik, tetapi juga memberikan arah strategis bagi pengembangan pendidikan yang responsif terhadap transformasi industri dan tantangan keberlanjutan global.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alshami, A., & Rashid, N. (2021). Green innovation strategies and firm competitiveness: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126613. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126613
- Daraojimba, R., Adewale, O., & Kim, J. (2024). Organizational agility and product development performance in dynamic environments. *Technovation*, 127, 102799. doi:10.1016/j.technovation.2023.102799
- Du, L., Zhang, Y., & Wang, H. (2026). Digital transformation and radical green innovation: Evidence from manufacturing firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122559. doi:10.1016/j.techfore.2025.122559
- Gupta, S., Dangayach, G. S., Singh, A. K., & Rao, P. N. (2018). Sustainable manufacturing practices and performance: Evidence from manufacturing industries. *Journal of Cleaner Production*, 174, 138–150. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.322
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. W.T. (2004). Build-to-order supply chain management: A literature review and framework. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 123–137. doi:10.1016/S0925-5273(03)00110-1
- Ibeh, C., Nwankwo, S., & Agho, K. (2024). Integrating agile and sustainable product development: A multi-dimensional framework. *Journal of Product Innovation Management*, 41(2), 215–232. doi:10.1111/jpim.12654
- Ivanov, D. (2020). Viable supply chain model: Integrating agility, resilience, and sustainability perspectives. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904–2915. doi:10.1080/00207543.2020.1750727
- Lauria, A., Di Nardo, M., & Bianchi, G. (2024). Digital twin applications for lifecycle management and sustainability optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 72, 233–245. doi:10.1016/j.jmsy.2024.01.012
- Leite, H. R., & Braz, V. R. (2016). Barriers to agile product development in SMEs. *International Journal of Agile Systems and Management*, 9(2), 123–138. doi:10.1504/IJASM.2016.078743

- Mesa, J. A. (2023). Design for circularity and durability: A structured framework for sustainable product development. *Sustainable Production and Consumption*, 37, 452–463. doi:10.1016/j.spc.2023.02.014
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. doi:10.1136/bmj.n71
- Piprani, A., Ramakrishna, S., & Wong, Y. S. (2024). Industry 4.0 technologies in product design and development: A systematic review. *Computers in Industry*, 158, 104021. doi:10.1016/j.compind.2024.104021
- Rihar, L., & Kuar, J. (2021). House of sustainability: Integrating environmental requirements into quality function deployment for sustainable product development. *Sustainability*, 13(9), 4821. doi:10.3390/su13094821
- Suhariyanto, T. T., Wahab, D. A., & Rahman, M. N. A. (2018). Multi-life cycle assessment for sustainable product development: A review. *Journal of Cleaner Production*, 191, 311–321. doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.217
- Sumter, D., Bakker, C., & Balkenende, R. (2020). Circular design competencies for product designers. *Sustainability*, 12(4), 1563. doi:10.3390/su12041563
- Tardio, J., Martinez, J., & Ruiz, A. (2023). Digital transformation of product development processes in Industry 4.0. *Engineering Management Journal*, 35(3), 215–229. doi:10.1080/10429247.2023.2178954
- Watz, M., & Hallstedt, S. I. (2022). Sustainability integration in product development: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130927. doi:10.1016/j.jclepro.2022.130927
- Yun, J. J., Zhao, X., & Park, K. (2023). AI-supported feature recognition and design optimization in CAD environments. *Advanced Engineering Informatics*, 56, 101896. doi:10.1016/j.aei.2023.101896