

## **LITERATURE REVIEW IN IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 FOR FOOTWEAR INDUSTRY**

### **KAJIAN IMPLEMENTASI INDUSTRI 4.0 PADA BIDANG INDUSTRI ALAS KAKI**

**Eka Legya Frannita<sup>1,\*</sup> dan Mochammad Charis Hidayatullah<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Leather Product Processing Technology, Politeknik ATK Yogyakarta

\*Corresponding author: \*eka.legya@atk.ac.id

#### **Abstract:**

Industry 4.0 is an era of digitalization that offers convenience, efficiency and productivity in every field, including of footwear industry. This study aims to investigate the application of technology 4.0 in the footwear industry. This study is mainly discussing about the product cycle of the footwear industry, the distribution map of the application of technology 4.0 in the product cycle of footwear industry, a review of each technology related to footwear industry, as well as the challenges of implementing technology 4.0 in the footwear industry in the future. To reach the significant data, we collect some relevant publications from some reputable publishers in term of the employment of technology for footwear industry. According to the literature results, some technologies such as 3D printing, adaptive manufacturing, automation systems, IoT, augmented reality and artificial intelligence have been employed in the footwear industry. These technologies have been proven to provide benefits such as efficiency and effectiveness of the production process. However, despite technology 4.0 has been proven to provide significant benefits, implementing technology 4.0 still has challenges. The main challenges faced in implementing technology 4.0 are digital data problems, cost issues, connectivity issues and technology literacy issues for the community. Thus, a reasonably in-depth analysis is needed regarding these issues to support the implementation of technology 4.0.

**Keywords:** footwear industry, industry 4.0, leather product industry.

#### **Intisari:**

Transformasi industri 4.0 merupakan era digitalisasi yang menawarkan kemudahan, efisiensi dan produktivitas dalam setiap pekerjaan termasuk pada industri alas kaki. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi terhadap penerapan teknologi 4.0 pada bidang industri alas kaki. Adapun kajian yang dibahas dalam penelitian ini adalah siklus produk industri alas kaki, peta distribusi penerapan teknologi 4.0 pada siklus produk industri alas kaki, review pada masing-masing teknologi 4.0 dalam bidang industri alas kaki, serta tantangan penerapan teknologi 4.0 pada industri alas kaki di masa yang akan datang. Berdasarkan hasil investigasi yang dilakukan, cukup banyak teknologi 4.0 yang telah diimplementasikan pada industri alas kaki seperti 3D printing, adaptive manufacturing, automation system, IoT, augmented reality hingga artificial intelligence. Teknologi-teknologi tersebut telah terbukti memberikan manfaat berupa efisiensi dan efektivitas proses produksi. Namun, walaupun teknologi 4.0 telah terbukti memberikan manfaat yang signifikan, proses penerapan teknologi 4.0 juga memiliki tantangan tersendiri. Tantang utama yang dihadapi dalam penerapan teknologi 4.0 antara lain adalah isu terkait masalah data digital, isu biaya, isu konektivitas dan isu literasi teknologi kepada masyarakat.

Sehingga, diperlukan analisis yang cukup mendalam terkait isu-isu tersebut dalam proses implementasi teknologi 4.0.

**Kata kunci:** industri alas kaki, industri 4.0, industri produk kulit

## Pendahuluan

Transformasi industri atau revolusi industri merupakan suatu perubahan yang diharapkan oleh seluruh masyarakat global yang dapat berperan sebagai sarana untuk mengatasi konsekuensi dari tumbuhnya globalisasi. Transformasi industri juga didefinisikan sebagai evolusi dan revolusi yang dikembangkan untuk mewujudkan sistem kerja yang lebih produktif, efektif dan efisien. Pada saat ini, kita telah hidup di era industri 4.0 yang dibangun dengan karakteristik *automated production* dimana diharapkan dengan adanya industri 4.0 sistem kerja menjadi lebih cepat, lebih produktif, lebih efektif dan efisien. Industri 4.0 identik dengan teknologi maju yang mengedepankan otomatisasi, kecepatan akses dan proses, *internet of things*, *robotics*, dan sebagainya [1][2].

Pada dasarnya, transformasi industri berkembang dari masa ke masa menyesuaikan dengan kebutuhan pekerjaan dan ketersediaan teknologi serta elemen-elemennya. Transformasi industri bertransmisi dari abad ke abad dengan tujuan agar transformasi yang diciptakan semakin baik serta dapat dioptimalkan untuk mempermudah pekerjaan. Sebelum terciptanya era industri 4.0, kita telah terlebih dahulu mengenal transformasi industri 1 hingga 3. Revolusi industri keempat, atau biasa disebut sebagai Industri 4.0, ditandai dengan munculnya kecerdasan terdesentralisasi yang membantu menciptakan jaringan objek cerdas dan manajemen proses yang *independent* [1][3]–[5]. Industri 4.0 juga erat kaitannya dengan proses pembangunan interaksi dunia nyata dengan dunia *virtual* dari proses manufaktur dan produksi. Dalam industri alas kaki misalnya, penggunaan *printer* 3D tentu saja merupakan salah satu contoh paling nyata dari industri 4.0 [6]. Seperti yang kita ketahui, beberapa desainer telah menghadirkan prototipe dan model yang sepenuhnya diproduksi dengan teknologi ini atau secara eksklusif menggunakan komponen yang dibuat dengan *printer* 3D [7]–[9]. Hal ini pun terbukti memberikan dampak yang efektif pada saat produksi. Karakteristik utama dalam transformasi industri 4.0 pada dasarnya adalah digitalisasi dan otomasi. Konektivitas antar peralatan-peralatan akan mendukung terciptanya kinerja terbaik dari proses produksi dimana hal tersebut dihasilkan dari mesin-mesin yang semakin canggih dan cepat serta kinerja mesin yang semakin akurat, dan efektivitas dari kinerja mesin-mesin tersebut merupakan kunci keberhasilan dalam implementasi transformasi industri 4.0 [10]–[13].

Dalam industri alas kaki dan produk kulit, kemajuan transformasi industri 4.0 sangat bermanfaat dalam sistem produksi. Digitalisasi dan otomasi serta kebaruan-kebaruan yang mendukung sistem produksi membuat industri alas kaki dan produk kulit menjadi semakin produktif [10][14]–[16]. Penerapan industri 4.0 tidak lepas dari kegiatan observasi yang panjang sehingga menghasilkan produktivitas yang tinggi. Kegiatan observasi tersebut merupakan kegiatan yang meliputi identifikasi masalah-masalah dalam proses produksi hingga penentuan solusi penyelesaian yang paling cocok untuk diterapkan [1][14]. Penerapan industri 4.0 juga memerlukan persiapan yang matang baik dari sisi sarana prasarana, sumber daya manusia, biaya dan sebagainya. Hal ini yang pada akhirnya menimbulkan banyak tantangan dalam proses implementasi industri 4.0 [17]–[20].

Menanggapi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan studi literatur tentang penerapan industri 4.0 pada bidang alas kaki. Kajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai contoh bagaimana suatu teknologi berbasis 4.0 dapat diterapkan pada bidang alas

kaki untuk menyelesaikan suatu permasalahan yang ada serta untuk meningkatkan produktivitas. Dengan adanya studi literatur mengenai penerapan industri 4.0 pada bidang alas kaki, maka diharapkan proses implementasi teknologi 4.0 dapat berjalan lebih efisien. Adapun cakupan dari studi literatur yang disajikan adalah mengenai siklus produk industri alas kaki, peta distribusi penerapan teknologi 4.0 pada siklus produk industri alas kaki, review pada masing-masing teknologi 4.0 dalam bidang industri alas kaki, tantangan penerapan teknologi 4.0 pada industri alas kaki di masa yang akan datang.

## **Metode Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi berbagai proses, metode, algoritma hingga teknologi yang diterapkan dalam bisnis proses produksi alas kaki. Data literatur diperoleh dari penerbit-penerbit yang bereputasi seperti Elsevier, IEEExplore, PubMed, Springer dan sebagainya. Literatur review yang dilakukan dibatasi pada lima tahun ke belakang. Tujuannya adalah agar metode atau teknologi yang disampaikan merupakan metode atau teknologi mutakhir yang dapat diimplementasikan dengan mudah pada masa sekarang ataupun masa depan. Adapun proses studi literatur terdiri atas beberapa tahap yakni sebagai berikut:

### **1. Perumusan masalah atau batasan studi literatur**

Pada tahap ini ditentukan beberapa pokok bahasan yang menjadi batasan dari studi literatur yang dibahas. Berikut adalah pokok bahasan pada studi literatur ini:

- a) Siklus produk industri alas kaki
- b) Peta distribusi penerapan teknologi 4.0 pada siklus produk industri alas kaki
- c) Review pada masing-masing teknologi 4.0 dalam bidang industri alas kaki
- d) Tantangan penerapan teknologi 4.0 pada industri alas kaki di masa yang akan datang

### **2. Pengumpulan data**

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan informasi dari publikasi-publikasi yang terkait. Informasi yang dikumpulkan adalah berupa publikasi yang berkaitan dengan teknologi-teknologi pada industri 4.0 dan pemanfaatannya pada bidang industri alas kaki. Adapun publikasi yang dikumpulkan adalah publikasi dari beberapa jurnal yang diterbitkan oleh penerbit yang bereputasi seperti Elsevier, IEEExplore, PubMed, Springer dan sebagainya. Selain jurnal pada penerbit tersebut, informasi berupa buku atau laporan dari lembaga penelitian terkait dengan industri alas kaki baik dari dalam maupun luar negeri juga menjadi informasi yang dikumpulkan.

### **3. Analisis dan pengelompokan informasi**

Tahap analisis dan pengelompokan informasi merupakan tahap yang bertujuan untuk membuat distribution mapping pada penerapan industri 4.0. Dalam tahap ini dibuat suatu mapping yang menggambarkan teknologi-teknologi apa saja yang dapat digunakan pada setiap bisnis proses produksi alas kaki.

### **4. Rangkuman dan analisis hasil**

Tahap ini adalah tahap penarikan kesimpulan dari hasil studi literatur. Kesimpulan tersebut menjadi acuan untuk merumuskan tantangan dari penerapan industri 4.0 serta langkah strategis yang dapat diimplementasikan khususnya untuk industri alas kaki.

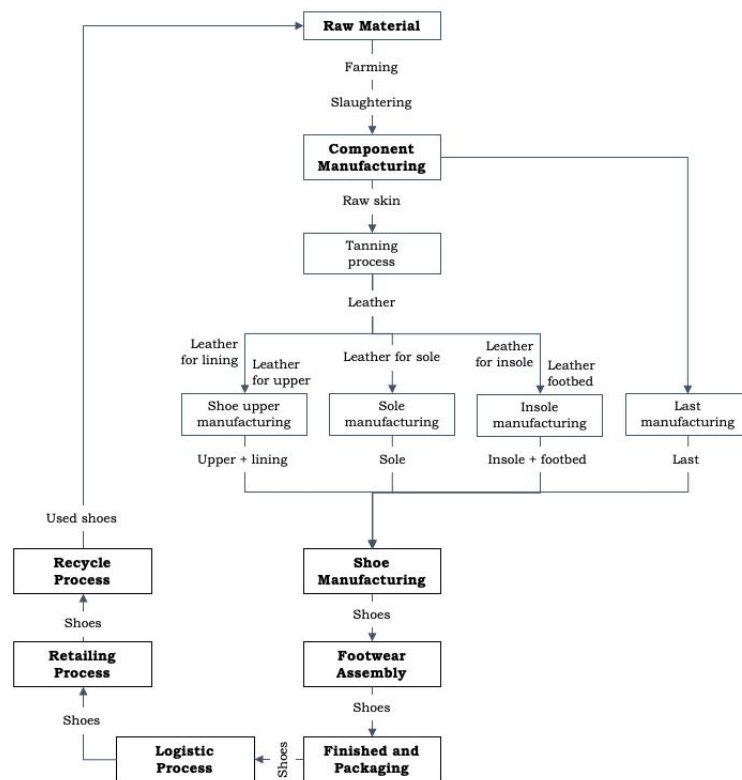
## **Hasil dan Pembahasan**

### ***Siklus Produk Industri Alas Kaki***

*Life cycle* atau siklus hidup dari suatu produk merupakan proses yang diperlukan mulai dari produk tersebut dirancang, diproduksi, produk sampai ke tangan konsumen hingga proses *recycle* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 [21][22].

### **Raw material**

*Raw material* dapat didefinisikan sebagai bahan-bahan mentah yang digunakan pada saat produksi. Pada industri alas kaki dalam hal ini dengan bahan kulit, maka kulit menjadi bahan utama yang digunakan untuk proses produksi selain didukung dengan bahan-bahan yang lain seperti kain, karet maupun plastik. Dalam industri alas kaki dengan bahan baku kulit, di awal siklus manufaktur terdapat istilah *farming* dan *slaughtering*. Proses *farming* merupakan proses budidaya hewan yang nantinya akan dimanfaatkan kulitnya sebagai bahan sepatu. Sedangkan proses *slaughtering* adalah proses penyembelihan untuk dimanfaatkan daging serta kulitnya. Setelah disembelih, kulit akan dipisahkan untuk kemudian diberikan garam ataupun dikeringkan. Hal tersebut merupakan proses yang penting untuk dapat menghindari atau paling tidak mengurangi proses degradasi kualitas kulit yang justru dapat membuat kulit tidak dapat dimanfaatkan [21].



**Gambar 1.** Siklus produk industri alas kaki

### **Component manufacturing**

Proses pertama yang dilakukan adalah proses tanning. Proses tanning dapat menjadikan kulit menjadi barang yang lebih tahan lama. Secara umum, tanning dilakukan melalui beberapa tahap dimana kulit akan direndam dalam tangki besar maupun drum yang dapat berputar. Bahan-bahan yang digunakan dapat berupa campuran bahan sintetis dan bahan alami yang dapat membuat karakter kulit menjadi stabil. Setelah melalui proses tanning, kulit sudah dapat digunakan untuk proses produksi. Dalam proses produksi, terdapat beberapa

komponen manufaktur yang terlibat untuk menjadi sepatu yang siap didistribusikan. Berikut adalah beberapa komponen tersebut [21][22]:

- a) *Shoe upper Manufacturing*: Perusahaan yang memproduksi bagian *shoe upper* akan memotong kulit berdasarkan jenis dan bentuk sepatu. Perusahaan ini memproduksi bagian *shoe upper* serta lining.
- b) *Sole Manufacturing*: Perusahaan sole bertanggung jawab terhadap produksi bagian bawah sisi luar dari sepatu. Sole dapat dibuat dari potongan-potongan kulit yang memang ditujukan untuk dibuat sole. Potongan kulit tersebut dirakit bersama dengan bahan-bahan lain seperti rubber dan sebagainya. Dalam proses produksi sole, dilakukan tahap pewarnaan hingga proses finishing.
- c) *Insole Manufacturing*: Perusahaan yang memproduksi insole berperan terhadap produksi bagian bawah sepatu sisi dalam. Insole/Footbed dapat diproduksi dalam berbagai macam bentuk dan ukuran menggunakan bahan utama seperti kulit dengan dilengkapi bahan pendukung lainnya seperti rubber atau plastic foam.
- d) *Last Manufacturing*: Dalam produksi sepatu, diperlukan pula *shoe last*. Pada dasarnya, *shoe last* merupakan bentuk model 3D dari kaki yang biasanya terbuat dari kayu maupun plastik (biasanya high-density polyethylene). *Shoe last* berguna untuk dapat membentuk sepatu serta merakit *shoe upper* dengan insole dan sole.

#### ***Footwear assembling***

Tahap ini merupakan tahapan yang bertujuan untuk merangkai dan menggabungkan setiap komponen tersebut menjadi suatu kesatuan sepatu yang utuh. Tahap ini terdiri dari berbagai proses seperti pemasangan sisi atas sepatu, penjahitan sisi atas dengan sole, pengeleman sole dan sebagainya. Perakitan sepatu juga dilengkapi dengan proses finishing (seperti pemolesan sepatu) yang dapat dilakukan secara manual maupun secara semi-otomatis [21].

#### ***Finishing and packaging***

Produk alas kaki yang telah jadi kemudian dilakukan proses pengujian kualitas. Apabila produk lolos uji maka produk akan dikemas ke dalam kemasan agar produk tidak mengalami kerusakan ataupun penurunan kualitas ketika sampai di tangan konsumen [21].

#### ***Logistic***

Proses yang dilakukan setelah produk sepatu dikemas dengan baik adalah dengan melakukan distribusi produk ke kota-kota maupun negara-negara tujuan produk tersebut diproduksi. Proses logistic dapat memanfaatkan berbagai sarana transportasi seperti jalur darat (mobil, truk, kereta api) hingga jalur laut. Dalam proses distribusi ini, produk akan dikemas dengan aman sedemikian rupa untuk dapat menjaga kualitas produk tanpa adanya kerusakan dalam perjalanan [21].

#### ***Retailing***

Tujuan dari proses logistik di tahap sebelumnya adalah menuju gudang-gudang penyimpanan hingga toko-toko retail yang menjual dan mempromosikan produk sepatu tersebut. Pada tahap ini konsumen akan dapat melihat, menilai, dan memilih produk sepatu yang diinginkannya. Dengan demikian, kualitas produk yang dihasilkan akan sangat ditentukan pada tahap ini. Produk-produk dengan kualitas yang kurang baik akan dapat langsung dinilai oleh konsumen, di sisi lain kualitas produk yang baik akan membuat konsumen tertarik dalam membeli produk [21].

#### ***Recycling***

Tahap akhir adalah dengan melakukan daur ulang produk sepatu yang sudah tidak digunakan lagi. Sepatu-sepatu akan dipilah berdasarkan bagian-bagian produknya yang dapat diolah kembali. Bagian-bagian sepatu akan diolah menjadi bahan baku sepatu lain atau dapat pula menjadi bahan baku produk lain selain sepatu [21].

**Peta Distribusi Penerapan Teknologi 4.0 Pada Siklus Produk Industri Alas Kaki**

Masing-masing proses pada siklus produk industri alas kaki baik yang terbuat dari kulit ataupun non kulit memiliki perkembangan masing-masing. Dalam era industri 4.0, masing-masing proses juga telah bertransformasi dengan menggunakan teknologi-teknologi tertentu sesuai dengan kebutuhan. Tabel 1 menunjukkan peta distribusi yang mengilustrasikan penerapan teknologi industri 4.0 pada masing-masing proses pada siklus produk industri alas kaki.

**Tabel 1.** Peta distribusi Penerapan Teknologi 4.0 Pada Siklus Produk Industri Alas Kaki

Proses dalam siklus produk industri alas kaki	Jenis teknologi 4.0 yang digunakan
<i>Raw material</i>	adaptive manufacturing [23]
<i>Component manufacturing:</i> a) <i>Tanning process</i> b) <i>Shoe upper manufacturing</i> c) <i>Sole manufacturing</i> d) <i>Insole manufacturing</i> e) <i>Last manufacturing</i>	IoT [24], automation system [25][24], adaptive manufacturing [23], 3D printing [7]
<i>Footwear assembly</i>	IoT [24], automation system [25][24], adaptive manufacturing [23], augmented reality [26]
<i>Finishing and packaging</i>	automation system [25][24], adaptive manufacturing [23], augmented reality [26]
<i>Logistic</i>	automation system [25][24], adaptive manufacturing [23], augmented reality [26]
<i>Retailing</i>	augmented reality [26], big data [16]
<i>Recycling</i>	adaptive manufacturing [23]

**Review Pada Masing-Masing Teknologi 4.0 Dalam Bidang Industri Alas Kaki**

Dalam industri alas kaki, 3D *printing* telah memberikan kinerja yang menguntungkan. Hal ini dibuktikan dari beberapa perusahaan sepatu besar yang mengembangkan 3D untuk mendukung produktivitas. Sebagai contoh, Nike mengembangkan generasi pertama 3D *printing* untuk sepatu sepak bola dengan nama “new Nike Vapor LaserTalon” dan sepatu rugby dengan nama “Vapor Laser Talon” pada tahun 2013. Setelah itu, Nike memperkenalkan “Vapor Carbon 2014” untuk sepatu olahraga dan “Vapor Hyper Agility” untuk sepatu sepak bola. Pada tahun 2016, Nike mengumumkan sebuah strategi kolaborasi dengan 3D *printing* Hewlett-Packard untuk membuat HPJet Fusion3D printer guna meningkatkan efisiensi *prototyping* dan mengurangi biaya. Berdasarkan data-data tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan perangkat lunak dan teknologi 3D untuk pemodelan sepatu memungkinkan pembuatan dan perubahan bentuk sepatu atau *boot* sesuai dengan persyaratan desain. Beberapa produk memiliki bentuk cetakan yang rumit sebelum diproduksi, dan teknologi pemodelan 3D dapat digunakan untuk

mendesainnya dengan lebih baik. Teknologi pemodelan 3D diperlukan untuk mengintegrasikan elemen mode lebih cepat dan lebih baik. Berikut ini adalah contoh penggunaan 3D dalam industri alas kaki [7].

Teknik *additive manufacturing* (AM) dapat digunakan untuk mempercepat desain dan manufaktur seluruh prototipe alas kaki atau bagian komponen-komponen individu dari alas kaki. Dibandingkan dengan peralatan konvensional dan teknik pembuatan prototipe cetakan, teknik AM menggunakan bahan baku secara optimal dan akurasi dimensi yang baik. Unit AM juga mengkonsumsi lebih sedikit ruang daripada unit peralatan dan cetakan lainnya, dan dengan demikian dapat ditempatkan di lingkungan kantor atau di dekat lokasi pengujian. Hal ini juga memungkinkan desain dan pembuatan prototipe bagian alas kaki tertentu, seperti sol luar dan sebagainya, sehingga memberikan fleksibilitas dalam proses desain. Sebagai contoh pada alas kaki olahraga. Karakteristik alas kaki olahraga telah dirancang untuk meningkatkan kebugaran, kinerja, mengurangi risiko cedera dan beberapa kondisi patologis. Hal tersebut dapat didesain dengan AM. Karena berbagai teknik AM yang tersedia, penting bagi peneliti alas kaki, desainer dan produsen untuk memahami keuntungan dan kerugian utama dari teknik AM yang relevan sebelum implementasi [27].

Selain teknologi di atas, banyak penelitian terbaru tentang otomatisasi dengan tujuan mengurangi pekerjaan manual untuk melindungi pekerja manusia dari lingkungan yang berbahaya. Sistem komersial yang khas adalah sistem perekat yang digunakan dalam ORISOL Taiwan [28]. Namun, sistem untuk ORISOL berfokus pada otomatisasi manufaktur tunggal, dan pekerjaan manual yang cukup besar masih diperlukan untuk proses manufaktur upper. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk melakukan otomatisasi keseluruhan proses pembuatan sepatu [23]. Menanggapi masalah tersebut, tercetuslah berbagai inovasi teknologi untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah dengan adanya automation system dalam setiap proses pada industri alas kaki. Sebagai contoh pada upper manufacturing. Pada penerapan automation system, ada dua masalah teknis utama yang perlu ditangani untuk otomatisasi. Untuk melakukan otomatisasi upper manufacturing perlu dilakukan pembuatan garis batas imajiner antara sol dan bagian atas sepatu. Garis ini perlu diukur terlebih dahulu pada permukaan melengkung bagian atas sepatu. Metode *non-contact* seperti 3-D vision atau 3-D scanning dapat menjadi solusi untuk jalur ekstraksi. Namun, gambar *multi-view* atau data dari arah sekitarnya harus diukur untuk mengekstrak garis batas pada bagian atas. Oleh karena itu, kamera 3-D atau sistem pemindaian harus dipasang di mekanisme rotasi atau manipulator tambahan. Selain itu, algoritma yang rumit untuk menentukan garis batas yang didapatkan dari beberapa gambar mentah atau sekumpulan titik-titik harus dikembangkan. X-ray Fluorescence (XRF) juga dipasang untuk mengidentifikasi garis batas yang tepat meskipun terdapat perbedaan bahan pada sepatu. Meskipun demikian, pabrik pembuatan sepatu membutuhkan metode atau mekanisme yang sederhana untuk dapat membuat proses produksi menjadi lebih cepat dan efisien. Untuk pembuatan sol, perekat harus disemprotkan secara merata ke bagian dalam sol. Algoritma pembuatan jalur robot untuk mendapatkan posisi dan orientasi alat penyemprot perekat di ujung robot harus dikembangkan berdasarkan informasi posisi garis batas antara sol dan bagian atas sepatu [23]. Sistem otomatis ini telah mengalami proses pengujian dan validasi. Berdasarkan hasil pengujian dan validasi disimpulkan bahwa sistem membutuhkan waktu sekitar 10 detik untuk melakukan proses pengeleman. Selain itu, sistem otomatis ini juga dapat menghemat jumlah pekerja, sehingga mengurangi resiko kecelakaan di lingkungan kerja [23].

Teknologi lainnya adalah *product tracking system*. *Product tracking system* ini dikembangkan dengan mengadopsi sensor IoT dan kamera video untuk melacak aliran produksi mulai dari

proses lasting hingga proses perakitan. *product tracking system* berbasis IoT yang berfungsi untuk pelacakan proses produksi dan deteksi cacat menggunakan sensor IoT dan *image processing* dimana pengembangan sistem ini akan berguna untuk meningkatkan produktivitas, meningkatkan akurasi dengan menyediakan proses produksi real-time, serta mengidentifikasi proses keterlambatan produksi. Dengan adanya sistem ini maka proses produksi dapat terpantau dengan lebih kondusif. Selain itu, ketika terdapat permasalahan pada saat produksi maka hal tersebut dapat segera diidentifikasi dan dicari solusinya [24].

Selain pada proses produksi dan pengelolaan serta monitoring produksi, industri 4.0 juga dapat dimanfaatkan sebagai media untuk menarik pelanggan. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan teknologi *augmented reality*. *Augmented reality* adalah suatu teknologi yang bekerja dengan cara menggabungkan objek pada dunia maya baik yang berupa dua dimensi dan ataupun tiga dimensi ke dalam sebuah lingkungan nyata yang kemudian memproyeksikan objek-objek maya tersebut secara nyata [29]. Saat ini, *augmented reality* menjadi salah satu teknologi populer yang dapat diterapkan pada industri terutama untuk kegiatan marketing guna menarik ketertarikan pelanggan terhadap produk yang dipasarkan. Contoh penerapan *augmented reality* pada industri alas kaki dapat dilihat pada video di materi ini. Dalam video tersebut terlihat bagaimana *augmented reality* dapat meningkatkan customer engagement dengan interaksi yang *real-time* dan menarik. Dengan adanya *augmented reality*, terlihat bahwa pelanggan dapat memanfaatkannya untuk seolah-olah menggunakan produk dalam dunia nyata. Pada dasarnya *augmented reality* tidak hanya berguna untuk kegiatan marketing saja. Pada industri maju *augmented reality* juga digunakan untuk monitoring terutama monitoring mesin-mesin yang terdapat pada pabrik. Biasanya *augmented reality* diintegrasikan dengan kamera termal dan juga *artificial intelligence* untuk dapat mengamati kondisi-kondisi mesin dalam pabrik [26], [30], [31]. Dengan bantuan teknologi semacam ini, maka *smart factory* dapat dibangun dengan sangat efisien. Tidak hanya mesin-mesin canggih yang mendukung, namun juga *software* atau aplikasi canggih juga diperlukan untuk mempermudah pekerjaan.

*Artificial intelligence* dan *big data* adalah dua teknologi yang saat ini sedang banyak diperbincangkan di berbagai bidang. Manfaat *artificial intelligence* dan *big data* telah banyak dirasakan oleh berbagai sektor termasuk pada sektor industri. Seperti yang kita ketahui, *artificial intelligence* dan *big data* menawarkan berbagai kemudahan terutama kaitannya dengan analisis data yang dapat dilakukan dengan lebih cepat, mudah, akurat dan hemat biaya. Dengan adanya berbagai manfaat tersebut banyak perusahaan yang mengembangkannya untuk meringankan semua pekerjaan yang ada. *Artificial intelligence* dapat diartikan sebagai kecerdasan buatan dimana kita sebagai pengembang berusaha untuk menanamkan pengetahuan atau kecerdasan pada suatu mesin agar mesin-mesin tersebut dapat bekerja selayaknya para pekerja. *Big data* sendiri merupakan suatu fenomena dimana kita hidup berdampingan dengan data yang melimpah sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal. Dalam industri sepatu, *artificial intelligence* dan *big data* memberikan berbagai manfaat. Sebagai contoh adalah teknologi *sentiment analysis*. *Sentiment analysis* merupakan suatu teknologi yang digunakan untuk mengetahui tren pasar. Teknologi ini bekerja dengan mengumpulkan data dan menganalisis kondisi pasar. Perusahaan biasanya menggunakan teknologi ini untuk mengetahui kebutuhan pasar sehingga proses produksi yang mereka hasilkan sesuai dengan keinginan pasar. Dampaknya tentu saja akan meningkatkan penjualan dari pabrik [14]. Sebagai contoh pada kasus yang diangkat oleh [14] dimana *sentiment analysis* dilakukan untuk mengetahui bagaimana kebutuhan konsumen terkait dengan alas kaki.



### **Tantangan Penerapan Teknologi 4.0 Pada Industri Alas Kaki**

Walapun teknologi 4.0 memberikan manfaat yang signifikan pada hampir setiap proses produksi industri alas kaki, penerapan teknologi 4.0 juga memiliki resiko dan tantangan yang cukup banyak. Berikut adalah beberapa tantangan yang menjadi pokok perhatian dari proses penerapan teknologi 4.0 pada bidang industri alas kaki [32]:

- a) Ketersediaan data digital dan analitik big data yang memungkinkan pemrosesan dan analisis data dalam jumlah besar dengan biaya yang lebih rendah serta memiliki kemampuan terkait dengan pengambilan keputusan secara cepat dan objektif.
- b) Robotika dan otomatisasi tingkat lanjut memungkinkan terwujudnya interaksi manusia-mesin yang dapat mengurangi kesalahan. Namun, pengembangannya membutuhkan waktu dan biaya yang cukup signifikan. Selain itu, literasi teknologi juga masih menjadi isu dan masalah bagi negara-negara berkembang sehingga penerapan teknologi menjadi tidak maksimal.
- c) Otomatisasi juga dibutuhkan konektivitas dan kualitas jaringan internet yang memadai.

### **Kesimpulan**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi terhadap penerapan teknologi 4.0 pada bidang industri alas kaki. Adapun kajian yang dibahas dalam penelitian ini adalah siklus produk industri alas kaki, peta distribusi penerapan teknologi 4.0 pada siklus produk industri alas kaki, review pada masing-masing teknologi 4.0 dalam bidang industri alas kaki, serta tantangan penerapan teknologi 4.0 pada industri alas kaki di masa yang akan datang. Berdasarkan hasil investigasi yang dilakukan, cukup banyak teknologi 4.0 yang telah diimplementasikan pada industri alas kaki seperti *3D printing*, *adaptive manufacturing*, *automation system*, *IoT*, *augmented reality* hingga *artificial intelligence*. Teknologi-teknologi tersebut telah terbukti memberikan manfaat berupa efisiensi dan efektivitas proses produksi. Namun, walaupun teknologi 4.0 telah terbukti memberikan manfaat yang signifikan, proses penerapan teknologi 4.0 juga memiliki tantangan tersendiri. Tantang utama yang dihadapi dalam penerapan teknologi 4.0 antara lain adalah isu terkait masalah data digital, isu biaya, isu konektivitas dan isu literasi teknologi kepada masyarakat. Sehingga, diperlukan analisis yang cukup mendalam terkait isu-isu tersebut dalam proses implementasi teknologi 4.0.

### **Daftar Pustaka**

- [1] E. G. Popkova and Y. V. Ragulina, *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, vol. 169. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-39319-9\_9.
- [2] G. Bonuccelli, "Industry 4.0 and Application Virtualization," *Parallels*, 2017. <https://www.parallels.com/blogs/ras/industry-4-0/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [3] A. Kusnandar, "Revolusi Industri 1.0 Hingga 4.0," *Forkoms FEB UGM*, p. 305, 2019.
- [4] L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: state of the art and future trends," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.
- [5] S. Anggraeni, "Sejarah Revolusi Industri 1.0 Hingga 4.0," *Kompasiana.com*, no. January, pp. 8–10, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.17436.51847.
- [6] T. Spahiu, E. Canaj, and E. Shehi, "3D printing for clothing production," *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 15, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1177/1558925020948216.
- [7] T. Gong and L. Kang, "Application Analysis of 3D Printing Technology in Design Field: Taking Shoe Design as an Example," *Sci. Program.*, vol. 2021, p. 5662460, 2021, doi:

- 10.1155/2021/5662460.
- [8] S. Jandova and R. Mendricky, "Benefits of 3D Printed and Customized Anatomical Footwear Insoles for Plantar Pressure Distribution," *3D Print. Addit. Manuf.*, Aug. 2021, doi: 10.1089/3dp.2021.0002.
- [9] M. Davia-Aracil, J. J. Hinojo-Pérez, A. Jimeno-Morenilla, and H. Mora-Mora, "3D printing of functional anatomical insoles," *Comput. Ind.*, vol. 95, pp. 38–53, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.12.001>.
- [10] A. Galluccio, "Industry 4.0 in focus: The Adidas Speedfactory," Université catholique de Louvain, 2022.
- [11] i-scoop, "Industry 4.0 and The Fourth Industrial Revolution Explained," 2015. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/#78-industry-40-faq-> (accessed Jun. 15, 2022).
- [12] i-scoop, "Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained," *I-Scoop*, 2021. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/> (accessed Jun. 17, 2022).
- [13] M. Kreuz, A. Böttjer, M. Trapp, M. Lütjen, and M. Freitag, "Towards individualized shoes: Deep learning-based fault detection for 3D printed footwear," *Procedia CIRP*, vol. 107, pp. 196–201, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.033>.
- [14] F. Polese, M. Vincenza, and C. Orlando, "Sustainability in footwear industry: a big data analysis," *Sinergie*, vol. 37, no. 1, pp. 149–170, 2019.
- [15] W. Xiao, J. Yang, H. Fang, J. Zhuang, Y. Ku, and X. Zhang, "Development of an automatic sorting robot for construction and demolition waste," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 22, no. 9, pp. 1829–1841, 2020, doi: 10.1007/s10098-020-01922-y.
- [16] E. Oztemel and S. Gursev, "Literature review of Industry 4.0 and related technologies," *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, no. 1, pp. 127–182, 2020, doi: 10.1007/s10845-018-1433-8.
- [17] M. Sony, J. Antony, O. Mc Dermott, and J. A. Garza-Reyes, "An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector," *Technol. Soc.*, vol. 67, p. 101754, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754>.
- [18] B. Gajdzik, S. Grabowska, and S. Saniuk, "A Theoretical Framework for Industry 4.0 and Its Implementation with Selected Practical Schedules," *Energies*, vol. 14, no. 4, 2021. doi: 10.3390/en14040940.
- [19] A. Zeid, S. Sundaram, M. Moghaddam, S. Kamarthi, and T. Marion, "Interoperability in Smart Manufacturing: Research Challenges," *Machines*, vol. 7, no. 2, 2019. doi: 10.3390/machines7020021.
- [20] D. R. A. Schallmo and C. A. Williams, *Digitalization of Your Business Model*. 2018.
- [21] Y. Kroutchinin and L.-A. Baudrier, "The life cycle of footwear production," Paris, 2013.
- [22] M. Rossi, A. Papetti, M. Marconi, and M. Germani, "Life cycle assessment of a leather shoe supply chain," *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 686–703, 2021, doi: 10.1080/19397038.2021.1920643.
- [23] M.-G. Kim, J. Kim, S. Y. Chung, M. Jin, and M. J. Hwang, "Robot-Based Automation for Upper and Sole Manufacturing in Shoe Production," *Machines*, vol. 10, no. 4, 2022. doi: 10.3390/machines10040255.
- [24] N. Intalar, K. Chumnumporn, C. Jeenanunta, and A. Tunpan, "Towards Industry 4.0: Digital transformation of traditional safety shoes manufacturer in Thailand with a development of production tracking system," *Eng. Manag. Prod. Serv.*, vol. 13, no. 4, pp. 79–94, 2021, doi: 10.2478/emj-2021-0033.
- [25] Q. Lu and X. Xu, "Adaptable Blockchain-Based Systems: A Case Study for Product

- Traceability,” *IEEE Softw.*, vol. 34, no. 6, pp. 21–27, 2017, doi: 10.1109/MS.2017.4121227.
- [26] D. Segovia, M. Mendoza, E. Mendoza, and E. González, “Augmented Reality as a Tool for Production and Quality Monitoring,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 75, pp. 291–300, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.250>.
- [27] Manoharan, Chou, S. Forrester, Chai, and P. Kong, “Application of additive manufacturing techniques in sports footwear,” *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 8, Dec. 2013, doi: 10.1080/17452759.2013.862958.
- [28] ORISOL, “Automatic Robotic Cementing System,” 2019. <https://orisol.com/assembly-solutions> (accessed Jun. 20, 2022).
- [29] AfterDigital, “The future of augmented reality in digital marketing,” *Digital Market*, 2022. <https://www.afterdigital.co.uk/insights-and-updates/blog/future-augmented-reality-digital-marketing> (accessed Jun. 25, 2022).
- [30] H. Ramírez, E. Mendoza, M. Mendoza, and E. González, “Application of Augmented Reality in Statistical Process Control, to Increment the Productivity in Manufacture,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 75, pp. 213–220, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.240>.
- [31] A. Syberfeldt, M. Holm, O. Danielsson, L. Wang, and R. L. Brewster, “Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future – Operators’ Perspective on Augmented Reality,” *Procedia CIRP*, vol. 44, pp. 108–113, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017>.
- [32] Footin-4.0, “Study on Industry 4.0 applied to the footwear industry in Europe,” *Erasmus*, no. April, 2019.