

**THE IMPACT OF THE INDUSTRIAL REVOLUTION 4.0 AND THE  
APPLICATION OF ADDITIVE MANUFACTURING ON THE VOLKSWAGEN  
GROUP**

**DAMPAK REVOLUSI INDUSTRI 4.0 DAN PENERAPAN ADDITIVE  
MANUFACTURING PADA VOLKSWAGEN GROUP**

**Heren Budi Mulia Kusmawan<sup>1</sup>, Abiyu Ibnu Yasa<sup>2</sup>**

Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Airlangga, Surabaya<sup>1,2</sup>

[herenbudi08@gmail.com<sup>1</sup>](mailto:herenbudi08@gmail.com)

**ABSTRACT**

*The industrial revolution 4.0 was instrumental in giving birth to Additive Manufacturing (AM) which combines smart technology and automation. With its flexibility, AM optimizes production processes, saves materials, time, and costs, and enables customized mass production with complex designs without traditional molds. The Volkswagen Group, as a leader in the automotive industry, has applied AM to increase innovation and efficiency. The technology is used in the manufacturing of vehicle components, production tools, and parts, which accelerates product development efficiently. As part of its digitalization strategy in the Industrial Revolution 4.0 era, Volkswagen is also integrating 3D printing to enable better product customization and reduce environmental impact. By using AM, Volkswagen can respond more quickly to changing market needs and shorten production cycles, making it a vital element in maintaining the company's competitiveness in an increasingly advanced era. This technology not only strengthens production efficiency, but also plays a role in the company's digital transformation efforts towards a more sustainable and technology-oriented future.*

**Keywords:** Additive Manufacturing, 3D Printing, Industrial Revolution 4.0

**ABSTRAK**

Revolusi industri 4.0 berperan penting dalam melahirkan Additive Manufacturing (AM) yang menggabungkan teknologi cerdas dan otomatisasi. Dengan fleksibilitasnya, AM mengoptimalkan proses produksi, menghemat bahan, waktu, serta biaya, dan memungkinkan produksi massal yang disesuaikan dengan desain yang kompleks tanpa cetakan tradisional. Volkswagen Group, sebagai pemimpin industri otomotif, telah menerapkan AM untuk meningkatkan inovasi dan efisiensi. Teknologi ini digunakan dalam pembuatan komponen kendaraan, alat produksi, dan suku cadang, yang mempercepat pengembangan produk secara efisien. Sebagai bagian dari strategi digitalisasi diera Revolusi Industri 4.0, Volkswagen juga mengintegrasikan 3D printing untuk memungkinkan kustomisasi produk yang lebih baik dan mengurangi dampak lingkungan. Dengan menggunakan AM, Volkswagen dapat merespons lebih cepat terhadap perubahan kebutuhan pasar dan memperpendek siklus produksi, menjadikannya elemen vital dalam mempertahankan daya saing perusahaan di era yang semakin maju. Teknologi ini tidak hanya memperkuat efisiensi produksi, tetapi juga memainkan peran dalam upaya transformasi digital perusahaan menuju masa depan yang lebih berkelanjutan dan berorientasi teknologi.

**Kata Kunci:** Additive Manufacturing, 3D Printing, Revolusi Industri 4.0

**PENDAHULUAN**

Revolusi Industri 4.0 merupakan suatu fase transformasi industri yang ditandai dengan perpaduan teknologi digital, kecerdasan buatan (AI), Internet of Things (IoT), big data, dan sistem otomatisasi dalam proses manufaktur. Revolusi ini muncul sebagai kelanjutan dari Revolusi Industri 3.0 yang berfokus pada otomatisasi berbasis komputer dan teknologi informasi. Konsep Revolusi

Industri 4.0 pertama kali diperkenalkan oleh pemerintah Jerman pada tahun 2011 sebagai strategi untuk mempercepat digitalisasi industri guna meningkatkan efisiensi dan daya saing global (Schwab, 2016).

Revolusi Industri kali ini merupakan sebuah fase dalam digitalisasi sektor manufaktur, yang didorong oleh tren disruptif termasuk munculnya data dan konektivitas,

analitik, interaksi manusia-mesin, dan peningkatan robotika. Manufaktur modern dapat meningkatkan daya saing jangka panjang untuk memaksimalkan tenaga kerja, energi dan bahan untuk kualitas tinggi serta kecepatan respons terhadap permintaan pasar yang bervariasi dan ketepatan waktu ketika menerapkan konsep industri 4.0 dan teknologi canggih (Tamir, et, al., 2023). Kecerdasan manufaktur digunakan untuk meningkatkan daya saing jangka panjang dan memaksimalkan tenaga kerja dan bahan sehingga memiliki produksi berkualitas tinggi. Sejak itu, konsep ini telah berkembang pesat dan diterapkan di berbagai sektor, termasuk industri otomotif.

Setelah teknologi AM muncul dan berkembang di berbagai sektor teknologi yang ada, hal ini membawa banyak dampak positif bagi teknologi manufaktur, peningkatan daya komputasi dan pengurangan biaya penyimpanan massal. Selain itu, juga membuka jalan untuk memproses sejumlah data secara besar ke dalam model Computer-Aided Design (CAD) 3D atau peningkatan dari perangkat lunak CAD 2D di masa lampau dengan jangka waktu yang wajar (Gibson et al., 2010).

Alat ini dibuat sesuai kebutuhan spesifik kendaraan dan proses perakitan untuk meningkatkan ergonomis dan mengurangi waktu perakitan. Selain itu, AM juga memberikan manfaat pada rantai pasokan otomotif dengan memproduksi alat khusus yang dapat mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas komponen, seperti dalam penggunaan Selective Laser Melting (SLM) untuk alat cetak plastik. AM juga mempercepat produksi panel bodi konvensional dengan mengurangi waktu pembuatan alat, sehingga biaya produksi menurun (Pou, Riveiro, & Davim, 2021).

Seperti halnya Volkswagen Group yang juga merasakan dampaknya pada perkembangan industri di perusahaannya. Volkswagen Group yang didirikan di Wolfsburg pada tahun 1937 oleh pemerintah Jerman untuk memproduksi "mobil rakyat" secara massal dengan harga terjangkau (Volkswagen, n.d.). Volkswagen Group dianggap sebagai salah satu pemimpin dalam industri otomotif global yang telah mengambil langkah proaktif dalam mengadopsi teknologi Revolusi Industri 4.0, termasuk AM. Volkswagen melihat potensi besar dalam penggunaan teknologi ini untuk meningkatkan fleksibilitas produksi, mempercepat pengembangan kendaraan, serta mengurangi ketergantungan pada metode manufaktur konvensional yang lebih memakan waktu dan sumber daya (Volkswagen AG, 2021).

Pada tahun 1950-an, produksinya berkembang pesat, memperkenalkan van Transporter dan mobil Karmann Ghia. Kini, Volkswagen Group memiliki 10 merek dari 5 negara Eropa, termasuk Audi, Porsche, dan Lamborghini (Johnson, 2023). Grup ini juga menyediakan layanan keuangan seperti pembiayaan, leasing, dan asuransi. Melalui strategi New Auto Group, Volkswagen Group telah berinvestasi dalam pusat inovasi pencetakan 3D sejak beberapa tahun terakhir, yang memungkinkan perusahaan untuk mencetak komponen kendaraan dengan tingkat presisi tinggi dan efisiensi yang lebih baik (Volkswagen AG, 2021). Teknologi ini juga membantu Volkswagen dalam strategi produksi yang lebih berkelanjutan dengan mengurangi emisi karbon dan limbah material.

Namun, meskipun memiliki berbagai manfaat, penerapan Additive Manufacturing dalam skala industri masih menghadapi berbagai tantangan.

Biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan dalam pilihan material, serta persyaratan standar kualitas yang ketat menjadi beberapa hambatan utama dalam implementasi teknologi ini (Berman, 2012). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara lebih mendalam bagaimana Revolusi Industri 4.0 dan penerapan Additive Manufacturing telah memengaruhi Volkswagen Group dalam proses produksi dan strategi bisnisnya. Penelitian ini mendeskripsikan terkait penggunaan AM pada manufaktur serta menguraikan potensinya di masa depan dengan memaparkan keberhasilan Volkswagen Group dalam penggunaan AM pada perusahaan.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih luas mengenai dampak Revolusi Industri 4.0 terhadap Volkswagen Group dan bagaimana perusahaan ini beradaptasi dengan tren teknologi terbaru. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi industri otomotif lainnya dalam merancang strategi transformasi digital yang berkelanjutan guna meningkatkan daya saing global.

## Tinjauan Pustaka Revolusi Industri 4.0

Revolusi industri keempat dibangun di atas Revolusi Digital dan melahirkan konsep Industri 4.0, yang merupakan transformasi industri dengan mengintegrasikan teknologi digital ke dalam proses produksi (Savitri, 2019). Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan perpaduan teknologi yang mengaburkan batas antara fisik, digital, dan biologis, yang secara kolektif disebut sebagai sistem siber-fisik (cyber-physical system/CPS). Era ini membawa banyak terobosan teknologi, seperti robotika, kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), nanoteknologi, bioteknologi, komputasi kuantum,

Internet of Things (IoT), teknologi nirkabel 5G, percetakan 3D, serta industri otonomi penuh. Schlechtendahl et al. (2015) menekankan bahwa Industri 4.0 menciptakan lingkungan industri yang selalu terhubung dan mampu berbagi informasi secara real-time, sementara Herman et al. (2015) menggarisbawahi bahwa Industri 4.0 mencakup konsep smart factory, CPS, IoT, dan Internet of Services (IoS).

Teknologi dalam Industri 4.0, seperti IoT, AI, big data, komputasi awan, dan otomatisasi, memungkinkan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam proses produksi serta meningkatkan efisiensi dan personalisasi produk (Yang, 2021). Revolusi ini bertujuan untuk mewujudkan produksi massal yang dapat dikomputasi, memungkinkan skala produksi besar dengan variasi tinggi, serta meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dengan mengurangi limbah serta mengoptimalkan penggunaan energi melalui teknologi digital. Keseluruhan konsep ini didukung oleh sembilan pilar utama, yaitu big data dan analisis real-time, IoT, keamanan siber, komputasi awan, simulasi dan augmented reality (AR), additive manufacturing (AM), rantai pasokan pintar, robotika otonom, serta sistem integrasi yang memungkinkan kolaborasi antar entitas dalam ekosistem industri modern.

## Additive Manufacturing

Additive Manufacturing (AM) atau pencetakan 3D merupakan inovasi dalam industri manufaktur yang berbeda dari metode tradisional seperti pengecoran atau pemesinan, karena menggunakan pendekatan "layer-by-layer" untuk membentuk objek langsung dari model digital (Syed., et al, 2018).. Teknologi ini sangat fleksibel dan dapat diterapkan di berbagai sektor industri dengan mengkonsolidasi material dalam

bentuk sekecil mungkin, seperti tetesan cairan, kawat, atau bubuk. Dalam industri otomotif, AM menawarkan peluang besar untuk mengurangi bobot kendaraan, meningkatkan kinerja, serta menyederhanakan proses produksi dan perakitan (Zhao., et al, 2023). Namun, adopsinya dalam pembuatan langsung komponen otomotif masih terbatas akibat skala produksi yang besar.

Selain itu, AM memungkinkan pencetakan desain digital menjadi produk nyata yang disesuaikan, serta menghasilkan desain yang sulit dibuat dengan metode manufaktur tradisional. Teknologi ini juga memungkinkan pelanggan memantau proses produksi, sementara produk yang telah dipasarkan dapat mengumpulkan dan mengirim data penggunaan kepada produsen untuk dianalisis. Dengan demikian, perusahaan dapat meningkatkan inovasi dan pelayanan. Dalam konteks Industri 4.0, teknik industri berperan dalam pengembangan teknologi melalui proses pembelajaran yang mendorong inovasi dan meningkatkan daya saing perusahaan (Prihadyanti, 2015). Kemampuan teknologi yang kuat memungkinkan perusahaan mengasimilasi, menyesuaikan, serta mengembangkan inovasi yang berdampak pada efisiensi produksi, produktivitas, dan pangsa pasar.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif, yang juga menggunakan metode studi kasus untuk menganalisis dampak Revolusi Industri 4.0 dan penerapan additive manufacturing pada Volkswagen Group. Metode ini memungkinkan eksplorasi berbagai aspek perubahan teknologi dan dampaknya terhadap operasional. Data diperoleh dari sumber sekunder, seperti jurnal ilmiah, laporan tahunan, studi

akademik, artikel industri otomotif atau jurnal, buku, maupun website sesuai dengan informasi yang relevan terhadap penelitian ini.,

Teknik pengumpulan data mencakup studi literatur, analisis dokumen, serta analisis berita dan wawancara sekunder. Data dianalisis secara deskriptif-kualitatif melalui langkah-langkah reduksi data untuk menyaring informasi yang relevan dari berbagai sumber guna mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai topik penelitian, penyajian dalam bentuk narasi, serta dilengkapi dengan penarikan kesimpulan. Kredibilitas penelitian ditingkatkan melalui triangulasi sumber dengan membandingkan berbagai referensi akademik dan industri. Selain itu, digunakan teknik validasi data dengan mengacu pada berbagai literatur ilmiah yang terpercaya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Keuntungan Additive Manufacturing

Teknik AM memiliki kekhasan yaitu dikembangkan untuk menggantikan manufaktur tradisional untuk memperluas jangkauan pilihan proses produsen dan pelanggan yang memiliki kelebihan dan kekurangan dalam setiap opsi terkait dengan aplikasi untuk tinjauan keunggulan proses AM sehingga diperlukan tiga karakteristik fitur yaitu waktu, biaya, dan fleksibilitas yang digunakan sebagai dasar evaluasi.

Tujuan penggunaan AM adalah untuk menghemat waktu produksi dan meningkatkan kecepatan produksi yang digunakan untuk mempercepat prototipe dan mengurangi waktu produksi suku cadang. Kinerja rantai pasokan dapat ditingkatkan dengan mengubah lokasi menjadi fasilitas manufaktur di berbagai lokasi regional yang dekat dengan pasar utama. Manfaat terdistribusi termasuk waktu untuk berhenti, biaya end-to-end

yang lebih rendah, pemanfaatan kapasitas yang lebih rendah, kebutuhan manajemen inventaris yang lebih rendah, ketahanan yang lebih tinggi, fleksibilitas tinggi untuk variasi rantai pasokan. Tidak seperti manufaktur tradisional, ada sejumlah bahan yang harus dibuang.

AM menerapkan bahan menggunakan bahan limbah. Limbah material di AM telah berkurang hingga 40%, jika dibandingkan dengan metode tradisional. Sebanyak 95% hingga 98% bahan dengan limbah yang telah didaur ulang (Xiong., et, al, 2022). AM tidak memerlukan sumber daya seperti fitting, pemotongan gaji, dan cairan pendingin. Produksi ini disesuaikan dengan pesanan risiko persediaan sehingga tidak ada barang jadi yang tidak terjual.

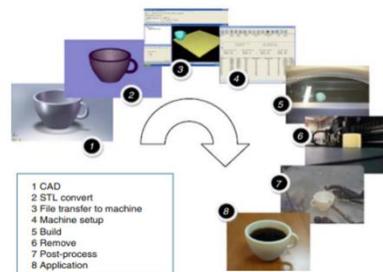


**Gambar 1. Keterkaitan antara tiga fitur utama**

Gambar di atas telah diilustrasikan sehubungan dengan fitur utama yang sesuai dengan keuntungan dari proses AM. Seluruh manfaat berkaitan dengan satu atau dua fitur yang berguna, mengurangi waktu dan biaya hasil fleksibel dari proses AM yang memberikan keuntungan dengan teknologi AM sebagai komponen yang rumit dan memerlukan penyelidikan lebih lanjut.

AM terdiri dari serangkaian langkah yang mengubah deskripsi CAD virtual menjadi bagian fisik. Setiap produk menggunakan AM dengan cara dan tingkat yang berbeda-beda. Produk yang lebih kecil dan sederhana mungkin hanya memanfaatkan AM untuk membuat model visualisasi, sementara

produk yang lebih besar dan kompleks dengan kandungan rekayasa yang lebih tinggi dapat menggunakan AM di berbagai tahap dan iterasi dalam proses pengembangannya. AM digunakan karena kemampuannya memproduksi dengan cepat, serta sangat bermanfaat dalam hal ini karena kemampuannya untuk menghasilkan bentuk yang kompleks tanpa perlu mempertimbangkan pembuatan perkakas. Sebagian besar proses AM setidaknya melibatkan delapan langkah dalam proses AM.



**Gambar 2. Cara Penggunaan AM**

Proses AM melibatkan pembuatan model CAD, konversi ke format STL, transfer dan penyesuaian pada mesin AM, pengaturan mesin, dan proses pembangunan bagian sebagian besar otomatis serta hanya memerlukan pemantauan ringan untuk memastikan tidak terjadi kesalahan, seperti habisnya material atau gangguan perangkat lunak. Setelah pembuatan, bagian diambil dengan aman dan mungkin memerlukan pasca-pemrosesan seperti pembersihan atau penguatan yang membutuhkan waktu dan ketelitian. Bagian yang telah selesai bisa digunakan atau diberi perawatan tambahan seperti pelapisan dasar dan pengecetan untuk hasil akhir yang diinginkan. Hal ini dijelaskan berdasarkan gambar diatas mengenai cara penggunaan AM.

### Teknologi Additive Manufacturing pada Volkswagen Group

Bagi perusahaan besar seperti Volkswagen Group, yang mampu

memproduksi sekitar 11 juta kendaraan penumpang dan komersial secara global di tahun 2017, menurutnya setiap detik dari waktu siklus atau proses sangatlah berarti (Jlaydon, 2018). Volkswagen menjadi produsen mobil terbesar di dunia, dengan berbagai cabang perusahaan dan berbagai merek yang tersebar di seluruh dunia. Seperti halnya, Volkswagen Autoeuropa yang berhasil memproduksi model seperti Scirocco dan Sharan dengan output tahunan sekitar 100.000 mobil, memilih mengubah proses manufakturnya dengan memanfaatkan teknologi pencetakan 3D. Sebelumnya, mereka bergantung pada pemasok eksternal untuk membuat alat bantu produksi seperti jig dan fixture, yang seringkali membutuhkan waktu berminggu-minggu dan biaya yang cukup tinggi. Namun, sejak menerapkan pencetakan 3D internal, mereka berhasil memangkas biaya pengembangan alat hingga 91% dan waktu produksinya hingga 95% (Ultimaker, n.d.).

Penggunaan pencetakan 3D di Volkswagen Autoeuropa ini dimulai pada tahun 2014 dengan satu printer. Setelah melihat keunggulannya dalam hal efisiensi dan kemudahan penggunaan, perusahaan kemudian menambah jumlah printer menjadi tujuh. Dengan kapasitas ini, mereka mampu memproduksi lebih dari 1.000 alat bantu per tahun. Salah satu contohnya adalah jig perlindungan roda yang sebelumnya dipesan dari pemasok eksternal seharga €800 dan memakan waktu 56 hari untuk dibuat (O'Connor, 2018). Dengan pencetakan 3D internal, alat ini kini dapat diproduksi hanya dalam 10 hari dengan biaya €21.

Selain menghemat waktu dan biaya, pencetakan 3D juga memberikan fleksibilitas desain yang lebih besar. Tim desainer dan teknisi CAD internal dapat dengan cepat membuat dan

memodifikasi alat sesuai kebutuhan, mencetaknya langsung di dekat lini produksi, dan langsung mengujinya (Engineering.com, n.d.).

Pada tahun 2016, implementasi pencetakan 3D ini telah menghemat sekitar €150.000 bagi Volkswagen Autoeuropa, dengan perkiraan penghematan meningkat menjadi €250.000 pada tahun 2017 (Ultimaker, n.d.). Investasi awal mereka dalam printer 3D Ultimaker bahkan balik modal dalam waktu hanya dua bulan. Keberhasilan ini membuat alat-alat produksi internal mereka diadopsi sebagai praktik terbaik di seluruh Volkswagen Group.

### **Perkembangan Additive Manufacturing Pada Volkswagen Group**

Pada awalnya, pencetakan 3D lebih umum digunakan untuk material seperti plastik dan bahan komposit. Namun, kemajuan teknologi memungkinkan penggunaannya untuk material logam, yang kemudian merevolusi industri manufaktur. Salah satu perusahaan yang berkontribusi dalam pengembangan teknologi pencetakan logam adalah Additive Industries, yang memperkenalkan sistem MetalFAB.

Sistem MetalFAB dirancang khusus untuk produksi manufaktur berbasis logam dengan tingkat modularitas dan otomatisasi yang tinggi. Keunggulan utama MetalFAB adalah efisiensi produksi yang lebih baik, dengan sistem yang memungkinkan pencetakan berkelanjutan dan otomatisasi penuh. Generasi berikutnya, yaitu MetalFABG2, menawarkan peningkatan signifikan dalam hal otomatisasi dan fleksibilitas. Sistem ini memiliki berbagai modul opsional yang memungkinkan produsen menyesuaikan konfigurasi sesuai dengan kebutuhan

manufaktur mereka, sehingga meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menekan biaya (Additive Industries, n.d.).

MetalFAB 300 Flex merupakan inovasi terbaru dalam teknologi ini. Sistem ini menawarkan fleksibilitas tinggi dengan area cetak yang dapat disesuaikan, sehingga memungkinkan produsen untuk mengurangi risiko investasi dalam adopsi teknologi manufaktur aditif berbasis logam. Dengan solusi ini, perusahaan dapat lebih mudah mengadopsi pencetakan 3D dalam skala industri tanpa perlu melakukan investasi besar di awal.

Sejak tahun 2018, Volkswagen telah menggunakan teknologi pencetakan 3D logam, termasuk sistem MetalFAB, di pusat produksi mereka. Salah satu contoh sukses penerapan teknologi ini adalah dalam pembuatan nozzle Tiguan, di mana Volkswagen berhasil mengurangi biaya produksi hingga 65% serta mempercepat waktu produksi menjadi hanya dua hari.

Secara tradisional, nozzle ini dibuat dari dua bagian terpisah yang kemudian disatukan melalui proses pengelasan dan berbagai tahapan manufaktur lainnya. Proses ini tidak hanya memakan waktu lebih lama tetapi juga meningkatkan risiko kesalahan produksi. Dengan teknologi Additive Manufacturing, Volkswagen kini dapat memproduksi nozzle dalam satu langkah, tanpa memerlukan perakitan atau proses pasca-produksi yang kompleks.



**Gambar 3. Nozzle Volkswagen yang dibuat dengan Teknologi AM**

Pabrik Volkswagen menggunakan sistem MetalFAB dengan fitur penghapusan otomatis bubuk, yang semakin mempercepat proses produksi. Dalam satu kali pencetakan, sebanyak 48 nozzle dapat diproduksi secara bersamaan di atas satu platform. Dengan adanya empat laser yang bekerja secara paralel, waktu pencetakan hanya membutuhkan 15 jam. Jika dihitung secara keseluruhan, proses manufaktur dari awal hingga selesai hanya memakan waktu 2-3 hari, jauh lebih cepat dibandingkan metode konvensional yang membutuhkan waktu berminggu-minggu.

Dari sisi material, nozzle yang diproduksi menggunakan MetalFAB dibuat dari baja tahan karat 316L, yang lebih murah dibandingkan material Titanium yang sebelumnya digunakan. Kombinasi dari desain yang dioptimalkan dan pemilihan material baru tetap mempertahankan kinerja mekanis yang diperlukan, sekaligus menekan biaya produksi (Additive Industries, 2023).

Keberhasilan implementasi MetalFAB mendorong Volkswagen untuk meningkatkan investasinya dalam teknologi ini. Untuk lebih meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah, Volkswagen memutuskan untuk membeli sistem MetalFAB kedua dari Additive Industries. Sistem terbaru ini memiliki laser otomatis dan modularitas yang memungkinkan ekspansi produksi tanpa memerlukan investasi besar.

Salah satu alasan utama Volkswagen memilih sistem ini adalah tingkat otomatisasi yang tinggi, yang tidak hanya menghilangkan proses manual tetapi juga meningkatkan keamanan kerja dan efisiensi produksi. Selain itu, teknologi ini juga memberikan dampak positif terhadap pengurangan limbah produksi, yang

menjadi fokus utama dalam strategi keberlanjutan Volkswagen.

Sebagai bagian dari visi jangka panjangnya, Volkswagen menargetkan untuk memproduksi hingga 1.000.000 komponen otomotif setiap tahun menggunakan teknologi pencetakan 3D berbasis logam di pabrik Wolfsburg pada tahun 2025.

### Dampak Additive Manufacturing pada Volkswagen

Volkswagen Group terus berupaya meningkatkan efisiensi dalam alur kerja produksi di seluruh fasilitasnya yang tersebar di berbagai wilayah. Untuk mencapai keunggulan dalam proses dan lingkungan manufaktur, perusahaan ini mengandalkan Sistem Produksi Grup Volkswagen, yang memastikan standar produksi yang seragam di semua pabrik. Saat ini, Volkswagen Group mengoperasikan 123 fasilitas produksi yang mencakup pembuatan mobil penumpang, kendaraan komersial, sepeda motor, serta powertrain dan komponen otomotif. Wilayah Eropa tetap menjadi pusat utama produksi dengan 71 lokasi, termasuk 28 pabrik di Jerman. Sementara itu, 34 fasilitas berada di Asia-Pasifik, lima di Amerika Utara, sembilan di Amerika Selatan, dan empat di Afrika (Volkswagen Group, 2023).

Sejak 2014, Volkswagen Autoeuropa di Portugal telah mengadopsi teknologi additive manufacturing (pencetakan 3D) dalam proses produksinya, terutama untuk mencetak komponen perkakas yang digunakan di jalur perakitan. Penggunaan printer 3D, khususnya printer FDM desktop dari Ultimaker, memungkinkan penghematan biaya produksi yang signifikan. Pada 2016, penghematan yang diperoleh dari teknologi ini mencapai \$160.000 per tahun. Biaya produksi dapat ditekan

lebih dari 90%, sementara waktu pengembangan perkakas berkurang hingga 95% dibandingkan metode konvensional (Jackson, 2017). Printer 3D ini menjadi solusi yang lebih hemat dibandingkan investasi pada mesin industri yang umumnya memiliki harga lebih dari \$100.000. Volkswagen menargetkan penghematan hingga \$200.000 per tahun, dengan potensi peningkatan mencapai \$250.000 per tahun dalam jangka panjang.

Saat ini, tujuh unit printer 3D, termasuk Ultimaker 3 dan Ultimaker 2+, digunakan untuk mendukung jalur produksi di pabrik Autoeuropa, yang menghasilkan sekitar 100.000 unit kendaraan per tahun. Pada 2016, pabrik ini berhasil mencetak 1.000 komponen perkakas dalam satu tahun, dengan investasi awal printer 3D yang sudah kembali hanya dalam waktu dua bulan. Salah satu contoh keberhasilan implementasi teknologi ini adalah dalam produksi alat lencana pintu bagasi. Dengan menggunakan pencetakan 3D, biaya produksi alat ini hanya \$11, jauh lebih murah dibandingkan dengan \$445 jika dipesan dari pemasok eksternal. Selain itu, waktu tunggu berkurang dari 35 hari menjadi hanya 4 hari (Jackson, 2017).



**Gambar 4. Perbandingan Penggunaan AM oleh Volkswagen Group**

Volkswagen juga mulai menerapkan teknologi pencetakan 3D dalam pembuatan suku cadang mobil, termasuk proyek percontohan untuk model GTI khusus. Pada 2018,

perusahaan meluncurkan 52 produksi baru, yang terdiri dari 29 model kendaraan baru dan penerusnya, serta 23 proyek peningkatan produk dan varian (Volkswagen Group, 2018).

Sebagai bagian dari inisiatif keberlanjutan, Volkswagen juga mengembangkan sistem untuk mengurangi limbah produksi, seperti Powder Load Tool dan Powder Recovery Station, yang mengoptimalkan penggunaan material logam dalam pencetakan 3D. Pada 2022, Volkswagen berhasil menekan biaya produksi nosel perkakas hingga 650% lebih murah dibandingkan metode sebelumnya, yang membuat perusahaan meraih Penghargaan Aplikasi Transportasi TCT (Johnson, 2023).

Pada 2019, pencetakan 3D tetap menjadi salah satu pilar utama dalam implementasi Industri 4.0 dan digitalisasi dalam industri otomotif. Teknologi ini memungkinkan Volkswagen untuk mencetak komponen yang lebih kompleks, dengan desain yang lebih fleksibel serta proses yang lebih cepat dan hemat biaya dibandingkan manufaktur konvensional. Implementasi pencetakan 3D juga mengurangi kebutuhan akan alat produksi khusus, sehingga memungkinkan desain langsung dari model digital ke produksi fisik tanpa melalui banyak tahapan manufaktur. Seiring berkembangnya teknologi digitalisasi, Volkswagen melihat potensi besar dalam produksi otomotif skala besar berbasis digital.

Selain itu, Volkswagen mulai mengimplementasikan proyek berbasis cloud untuk mendukung digitalisasi di seluruh fasilitas produksinya. Perusahaan ini juga sukses mengintegrasikan rantai pasokan secara global, dengan lebih dari 30.000 lokasi dan 1.500 pemasok yang terhubung dalam sistem digital. Langkah ini

bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mempercepat proses produksi, dan mengurangi ketergantungan pada metode manufaktur konvensional yang lebih mahal dan kurang fleksibel (Volkswagen Group, 2019).

Dengan semakin luasnya penerapan additive manufacturing, Volkswagen telah membuktikan bahwa pencetakan 3D tidak hanya mampu mengurangi biaya dan waktu produksi tetapi juga membuka peluang baru dalam desain dan inovasi produk. Langkah ini sejalan dengan tren industri yang semakin mengarah pada digitalisasi dan produksi berbasis teknologi pintar, menjadikan Volkswagen salah satu pelopor yang menerapkan manufaktur aditif di sektor otomotif.

## PENUTUP Kesimpulan

Revolusi Industri 4.0 telah membawa perubahan besar dalam industri otomotif, salah satunya melalui penerapan Additive Manufacturing (AM) atau pencetakan 3D. Volkswagen Group sebagai pemimpin industri otomotif telah mengadopsi teknologi ini untuk meningkatkan efisiensi produksi, inovasi desain, dan keberlanjutan lingkungan.

AM memungkinkan produksi suku cadang yang lebih cepat, hemat biaya, dan lebih fleksibel, dibandingkan dengan metode manufaktur konvensional. Teknologi ini juga mengurangi limbah material dan emisi karbon, sejalan dengan strategi keberlanjutan Volkswagen. Salah satu contoh suksesnya adalah penggunaan sistem MetalFAB dalam pencetakan logam yang mampu mempercepat produksi hingga beberapa kali lipat serta memangkas biaya produksi secara signifikan.

Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi tantangan seperti biaya investasi awal yang tinggi dan keterbatasan material. Meskipun demikian, Volkswagen terus meningkatkan investasi dalam teknologi AM.

## DAFTAR PUSTAKA

- Additive Industries. (n.d.). A New Metal Additive Manufacturing Era | The MetalFABG2. Retrieved from <https://www.additiveindustries.com/metalfabg2>.
- Additive Industries. (2023). Volkswagen realizes a 650% cost reduction on Tiguan production tooling using the MetalFAB industrial metal Additive Manufacturing equipment. Retrieved from <https://3dee.hu/wp-content/uploads/2023/01/Additive-Industries-Volkswagen-Case-Study-HR.pdf>
- Additive Industries. (n.d.). MetalFAB: The Future of Metal Additive Manufacturing. Additive Industries.
- Additive Industries. (2023). How Volkswagen Optimized Nozzle Production with MetalFAB Technology. Additive Industries.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155-162.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). "How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective." *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37-44.
- Engineering.com. (n.d.). Volkswagen Autoeuropa 3D prints manufacturing tools to save thousands of euros. Retrieved from <https://www.engineering.com/volkswagen-autoeuropa-3d-prints-manufacturing-tools-to-save-thousands-of-euros>
- Gibson, Ian & Rosen, David & Stucker, Brent. (2010). Additive Manufacturing Technologies – Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. 10.1007/978-1-4419-1120-9.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer.
- Jackson, Beau. (2017). Volkswagen saves \$160k in tooling costs using desktop FDM 3D printers. Retrieved from <https://3dprintingindustry.com/news/volkswagen-saves-160k-tooling-costs-using-desktop-fdm-3d-printers-116640/>
- Jackson, T. (2017). 3D Printing in Automotive: The Future of Manufacturing. *Additive Manufacturing Journal*, Vol. 5(3), pp. 45-62.
- Johnson, Oliver. (2023). Volkswagen expands 3D printing capabilities with installation of its second MetalFAB system. Retrieved from <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/metal-additive-manufacturing-news/volkswagen-expands-3d-printing-capabilities-with-installation-of-its-second-metalfab-system/>
- Jlaydon. (2018). Volkswagen: Additive Manufacturing as a Tool for Success. Retrieved from <https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/volkswagen->

- additive-manufacturing-as-a-tool-for-success/
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. German National Academy of Science and Engineering.
- O'Connor, Daniel. (2018). *Can you jig it? Volkswagen & Ultimaker's 3D printing success*. Retrieved from <https://www.tctmagazine.com/can-you-jig-it-volkswagen-ultimaker-3d-printing>
- Prihadyanti, D. (2015). Pembelajaran Teknologi di Perusahaan Manufaktur Berintensitas Tinggi dan Menengah-Tinggi. *Jurnal Manajemen Teknologi*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.12695/jmt.2015.14.1.1>
- Pou, Juan & Riveiro, Antonio & Davim, J. Paulo. (2021). Additive Manufacturing. Handbooks on Advanced Manufacturing. 10.1016/C2018-0-00910-X.
- Savitri Astrid. (2019). Revolusi Industri 4.0, Mengubah Tantangan Menjadi Peluang Di Era Dirupsi 4.0. Yogyakarta: Penerbit Ganesia.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business.
- Syed A.M. Tofail, Elias P. Koumoulos, Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose, Lisa O'Donoghue, Costas Charitidis, (2018), Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities, *Materials Today*, <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>
- Ultimaker. (n.d.). *Volkswagen Autoeuropa maximizing production efficiency with 3D printed tools, jigs, and fixtures*.
- Retrieved from <https://ultimaker.com/learn/volkswagen-autoeuropa-maximizing-production-efficiency-with-3d-printed-tools-jigs-and-fixtures>
- Volkswagen. (2018). Annual Report 2018. Retrieved from <https://annualreport2018.volkswagenag.com/group-management-report/sustainable-value-enhancement/production.html>.
- Volkswagen Group. (2019). *Digitalization and Cloud-Based Manufacturing in the Automotive Industry*. Volkswagen AG.
- Volkswagen (2021). NEW AUTO: Volkswagen Group set to unleash value in battery-electric autonomous mobility world. Retrieved from <https://www.volkswagen-group.com/en/publications/presentations/press-release-volkswagen-group-strategy-new-auto-1857/download?disposition=attachment>
- Volkswagen AG. (2021). Volkswagen strengthens expertise in 3D printing and starts additive manufacturing center. Retrieved from <https://www.volkswagen-newsroom.com>
- Volkswagen. (n.d.). History. Retrieved from <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/history-3693>.
- Volkswagen Group. (2022). *Annual Report 2022*.
- Volkswagen Group. (2023). *Volkswagen Production and Sustainability Strategy*. Volkswagen AG.
- Xiong, Gang & Tamir, Tariku & Shen, Zhen & Shang, Xiuqin & Wu, Huaiyu & Wang, Fei-Yue. (2022). A Survey on Social Manufacturing: A Paradigm Shift for Smart Prosumers. *IEEE Transactions on Computational*

- Social Systems.  
10.1109/TCSS.2022.3180201.
- Yang, F., Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. *Complex Intell. Syst.* 7, 1311–1325.  
<https://doi.org/10.1007/s40747-020-00267-9>
- Zhao, N., Parthasarathy, M., Patil, S., Coates, D., Myers, K., Zhu, H., & Li, W. (2023). *Direct additive manufacturing of metal parts for automotive applications*. Journal of Manufacturing Systems, 68, 368–375.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.008>