

**MENEMBUS BATAS INOVASI:
PERAN *ADDITIVE MANUFACTURING* DALAM KEMAJUAN
TEKNOLOGI INDONESIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Sistem Manufaktur Aditif
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 24 Juni 2025**

**Oleh:
Prof. Dr.Eng. Ir. Herianto, S.T., M.Eng., IPU., ASEAN Eng.**

Bismillahirrahmanirrahim

Yang terhormat,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
 Gadjah Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
 Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
 Mada,
 Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
 Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Fakultas Teknik Universitas
 Gadjah Mada,
 Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada,
 Rekan-rekan sejawat dosen dan segenap sivitas akademika Universitas
 Gadjah Mada,
 Para tamu undangan, keluarga yang saya cintai, serta hadirin sekalian
 yang saya hormati.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, segala puji hanya milik Allah *subhaanahu wa ta'aalaa*, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, kita dapat berkumpul di Balai Senat Universitas Gadjah Mada dalam keadaan sehat *wal'aafiat*. Sholawat dan salam kami haturkan kepada keluarga dan sahabatnya. Dalam kesempatan yang berbahagia ini, perkenankanlah saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan dengan judul:

**Menembus Batas Inovasi:
 Peran Additive Manufacturing Dalam Kemajuan Teknologi
 Indonesia**

Latar Belakang

Bapak/Ibu hadirin yang saya muliakan,

Saat ini, dunia tengah berada dalam era Industri 4.0 yang ditandai dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat. Industri 4.0 tidak bisa lepas dari teknologi manufaktur. Berikut lima negara maju yang dikenal unggul karena kemajuan teknologi manufakturnya.

Jerman merupakan salah satu negara yang paling dikenal karena kekuatan teknologi manufakturnya. Negara ini menjadi pelopor konsep Industri 4.0, yang menggabungkan otomasi, *Internet of Things* (IoT), dan sistem siber-fisik dalam proses produksi (Jeschke *et al.*, 2017). Industri otomotif dan mesin presisi menjadi andalan, dengan merek-merek besar seperti BMW, Mercedes-Benz, dan Siemens.

Jepang juga menunjukkan dominasi dalam sektor manufaktur dengan penerapan *lean manufacturing* dan efisiensi tinggi dalam proses produksi (Kumar *et al.*, 2022). Jepang dikenal akan kualitas produk elektronik dan otomotifnya yang mendunia, seperti Toyota, Honda, dan Sony.

Amerika Serikat menjadi pusat inovasi manufaktur berbasis teknologi tinggi. Negara ini mengandalkan integrasi kecerdasan buatan, *big data*, dan sistem otomatisasi dalam produksi (Yarlagadda 2015). Perusahaan seperti Tesla dan Boeing merupakan contoh penerapan manufaktur canggih berbasis teknologi.

Korea Selatan juga masuk dalam daftar negara maju karena keberhasilan mereka dalam mengembangkan industri semikonduktor dan elektronik (Jeong, 2024). Samsung dan LG menjadi simbol kekuatan manufaktur negara ini yang sangat fokus pada riset dan pengembangan.

Terakhir, **Tiongkok**, meskipun dulunya dikenal sebagai pusat produksi berbiaya rendah, kini telah bertransformasi menjadi raksasa manufaktur berbasis teknologi (Lin, Wu and Song, 2023). Dengan dukungan pemerintah dan investasi besar-besaran dalam otomatisasi dan *Artificial Intelligence* (AI), Tiongkok berhasil memperkuat posisinya di bidang elektronik, kendaraan listrik, dan manufaktur alat berat. Kelima negara ini tidak hanya maju secara ekonomi, tetapi juga menjadi penggerak utama dalam revolusi industri modern melalui teknologi manufaktur yang terus berkembang.

Bagaimana dengan Indonesia? Pertanyaan ini sering terlintas dalam benak saya: mengapa hingga kini bangsa kita masih belum benar-benar bangkit? Padahal, tidak dapat disangkal bahwa Indonesia merupakan gudang talenta cerdas. Banyak mahasiswa Indonesia yang berhasil meraih prestasi gemilang di berbagai institusi internasional dan diakui di tingkat global. Banyak peneliti dan inovator Indonesia yang telah melakukan penelitian dan menghasilkan produk yang sangat luar biasa. Dari analisis terhadap negara-negara seperti Jerman, Jepang, Amerika Serikat, Korea Selatan, dan Tiongkok, tampak jelas bahwa kemajuan mereka ditopang oleh kekuatan di sektor industri—terutama di bidang elektronika dan manufaktur. Melalui industri inilah mereka mampu menciptakan inovasi berkelanjutan, membuka lapangan kerja luas, serta memperkuat daya saing nasional di kancah global. Jika kita ingin menapaki jalur kemajuan yang serupa, Indonesia perlu merumuskan strategi jangka panjang yang terarah dalam pengembangan industri manufaktur. Penguasaan terhadap sektor ini bukan hanya akan memperkuat fondasi ekonomi nasional, tetapi juga menjadi motor penggerak bagi kemandirian teknologi dan transformasi bangsa di masa depan.

Teknologi Manufaktur: Dari *Formative* Menuju *Additive Manufacturing*

Yang saya hormati, Bapak/Ibu hadirin sekalian,

Secara umum, teknologi dalam bidang manufaktur dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama: *formative*, *subtractive* dan *additive manufacturing* (Živanović *et al.*, 2020). *Formative manufacturing* adalah proses pembentukan benda kerja dengan mengubah bentuk material tanpa menghilangkan material, yang biasanya dilakukan dengan tekanan, panas, atau cetakan (DeBoer *et al.*, 2021). Contoh proses *formative manufacturing* antara lain : *casting* (Puangkunya, Srisawadi and Chanthasopeepphan, 2025; Zhang *et al.*, 2025), *molding* (Maristany *et al.*, 2024; Komara, Setiawan and Budiwantoro, 2025), *forging* (Guo *et al.*, 2023; Jhanji *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024), *pressing*, dan *stamping*. Casting dilakukan dengan cara melelehkan material terlebih dahulu, kemudian dituangkan ke dalam cetakan, dan dibiarkan mengeras hingga membentuk objek yang

diinginkan. *Formative manufacturing* seperti tempa (*forging*) dan pengecoran logam (*casting*) telah digunakan sejak zaman kuno, bahkan sejak zaman perunggu dan besi (sekitar 3000 SM – 1000 SM) (Stefanescu, 2023). Kelebihan dari teknologi ini adalah cocok untuk produksi massal, waktu produksi per unit cepat (setelah cetakan jadi). Sedangkan kekurangannya adalah mahal untuk setup awal (biaya cetakan tinggi) dan kurang fleksibel untuk produk kustomisasi (Herfurth and Scharf, 2021).

Kelompok teknologi yang kedua adalah *subtractive manufacturing*, yaitu proses pembentukan objek tiga dimensi dengan cara mengurangi atau menghilangkan sebagian material dari benda kerja awal untuk mendapatkan bentuk akhir yang diinginkan (El- Hofy, 2018). Metode ini dilakukan menggunakan alat potong seperti mesin *turning*, *milling*, *drilling*, dan *grinding* (Sheikh-Ahmad, 2009).

Kedua kelompok atau metode manufaktur tersebut merupakan bagian dari teknologi manufaktur yang telah lama digunakan dan tersebar luas di industri manufaktur Indonesia. Teknologi ini telah berperan penting sejak sebelum era Revolusi Industri 4.0. Meskipun terbukti handal, metode tersebut sering kali memerlukan biaya produksi yang tinggi, proses kerja yang kompleks, waktu pengerjaan yang relatif lama dan adanya sisa bahan yang dapat menimbulkan masalah sendiri apalagi di era *zero waste* seperti saat ini (Singh, Ramakrishna and Gupta, 2017).

Sebagai jawaban atas tantangan tersebut, teknologi ***additive manufacturing (AM)*** hadir sebagai salah satu pilar utama dalam revolusi industri 4.0. Berbeda dari pendekatan *subtractive manufacturing* yang menghilangkan material, teknologi ini membentuk objek tiga dimensi dengan cara menambahkan material secara bertahap (lapis demi lapis) (Mastriswadi *et al.*, 2024).

Proses AM diawali dengan pembuatan desain digital menggunakan *Computer-Aided Design (CAD)*, yang kemudian diubah menjadi bagian-bagian tipis (*slice*) dan dikonversi menjadi instruksi mesin dalam bentuk *G-code*. Instruksi tersebut dikirim ke mesin *3D printing* yang secara otomatis menjalankan proses manufaktur (Setyawan, 2022).

Dengan beberapa keunggulan proses manufaktur yang tidak dimiliki teknologi lainnya, efisiensi proses yang lebih baik, serta biaya yang lebih kompetitif, *additive manufacturing* menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan metode konvensional (Thomas, 2016). Selain menyederhanakan proses manufaktur, teknologi ini juga membuka peluang besar dalam hal inovasi desain personalisasi produk, dan optimalisasi rantai pasok (Alogla *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penerapan teknologi ini diharapkan dapat menjadi motor penggerak dalam pengembangan teknologi nasional dan mendorong kemandirian industri di masa mendatang.

Sejarah *Additive Manufacturing*

Hadirin yang berbahagia,

Teknologi *additive manufacturing* atau dikenal dengan *3D printing*, pertama kali diperkenalkan pada awal 1980-an. Inovasi ini bermula dari proses yang disebut *stereolithography* (SLA), yang ditemukan oleh Charles Hull pada tahun 1984 (Sai Kalyan, Kumar and Nagdeve, 2021). Ia mengembangkan metode untuk mencetak objek tiga dimensi dari file digital dengan cara mengeraskan resin cair lapis demi lapis menggunakan sinar ultraviolet. Penemuan ini kemudian dipatenkan dan menjadi dasar pendirian perusahaan 3D Systems, yang merilis printer 3D komersial pertama di dunia pada tahun 1988. Pada tahun-tahun berikutnya, teknologi lain bermunculan, seperti *Selective Laser Sintering* (SLS) (Aldahash, 2018; Ospennikova *et al.*, 2021; Tasaka *et al.*, 2021; Korycki *et al.*, 2022; Che *et al.*, 2024) dan *Fused Deposition Modeling* (FDM) (Dilberoglu and Yaman, 2019; Singh, Singh and Boparai, 2020; Kılınç *et al.*, 2023; Huynh *et al.*, 2024; Ding *et al.*, no date), yang memperluas jenis material yang dapat digunakan, seperti plastik dan logam.

Memasuki era 1990-an hingga 2010, perkembangan *3D printing* semakin pesat. Teknologi ini mulai digunakan secara terbatas di sektor industri untuk *rapid prototyping*, memungkinkan perusahaan menghemat waktu dan biaya dalam pengembangan produk. Di awal 2000-an, paten-paten awal mulai habis masa berlakunya, yang mendorong munculnya komunitas *open-source* seperti proyek RepRap (2005) (Lengua, 2017), yang bertujuan mengembangkan printer 3D

yang dapat mencetak sebagian besar bagiannya sendiri. Hal ini memicu ledakan minat publik dan komersialisasi printer 3D berskala kecil. Menjelang tahun 2010, 3D *printing* mulai dikenal luas oleh masyarakat umum dan membuka potensi besar untuk penggunaan di berbagai bidang, termasuk pendidikan, seni, medis, hingga manufaktur dan rumah tangga.

Lahirnya 3D Printing Buatan UGM

Pimpinan sidang dan hadirin yang saya hormati,

Pencapaian ilmu yang tinggi serta berbagai luaran yang telah diraih tidak diperoleh secara tiba-tiba. Semua itu dicapai melalui langkah-langkah kecil yang dilakukan secara konsisten, dengan kegigihan dan ketekunan yang terus dijaga. Dari semangat tersebut, muncul sebuah gagasan agar rumah dapat dijadikan sebagai laboratorium pribadi—tempat di mana kegiatan penelitian bisa dilakukan dengan lebih nyaman, tanpa dibatasi oleh waktu maupun keterbatasan fasilitas. Konsep ini kemudian diberi nama *Home as Lab*, atau disingkat **HAL**, sebagai bentuk nyata bahwa proses inovasi dapat dimulai dari lingkungan yang paling dekat: rumah sendiri.

Konsep *Homes as Lab* (HAL) mulai dirintis pada tahun 2010, bertepatan dengan masa awal membangun karier dan memulai kegiatan penelitian pasca menyelesaikan studi doktoral. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, arah fokus penelitian secara alami tertuju pada pengembangan teknologi manufaktur di Indonesia. Pengalaman saya selama menempuh studi S2 dan S3 di luar negeri menunjukkan bahwa produktivitas mahasiswa sangat didukung oleh ketersediaan fasilitas dan peralatan penelitian yang memadai. Namun, ketika kembali ke tanah air setelah menyelesaikan pendidikan doktoral, realitas berbeda harus dihadapi oleh para peneliti. Tidak semua peralatan yang dibutuhkan tersedia, dan berbagai keterbatasan fasilitas dan peralatan menjadi tantangan tersendiri dalam memulai kembali aktivitas penelitian di dalam negeri.

Berangkat dari kondisi tersebut, mulai dipikirkan bagaimana peralatan yang tersedia dapat dimanfaatkan dan dioptimalkan agar produktivitas tetap terjaga. Pada saat itu, fokus utama penelitian diarahkan pada upaya melakukan retrofit terhadap mesin-mesin yang

sudah tidak terpakai guna mendukung kegiatan penelitian di bidang manufaktur. Langkah awal yang dilakukan adalah meretrofit CNC yang sudah rusak atau tidak lagi memiliki kontroler (Hasan and Herianto, 2014; Yanel, Herianto and Sriwijaya, 2019; Arendra and Herianto, 2020).

Setelah proses retrofit berhasil dikerjakan, ide-ide baru mulai dikembangkan, termasuk pembuatan **mini CNC** (saat ini sudah mendapatkan sertifikasi paten). Setelah mesin-mesin yang dibutuhkan berhasil disiapkan, tahap berikutnya difokuskan pada riset produk. Melihat tren kolaborasi antar bidang yang sedang berkembang, pengembangan robot rehabilitasi pasien pasca stroke dilakukan (Mastrisiswadi and Herianto, 2015, 2017b, 2017a; Herianto, Herianto, Saryanto and Cahyadi, 2016; Nugroho and Herianto, 2016; Dwiputra *et al.*, 2017; Hamidah *et al.*, 2019; Herianto, Febryantho and Mastrisiswadi, 2019; Herianto, Riyadi and Mastrisiswadi, 2020). Setelah robot tersebut berhasil difungsikan dengan baik, disadari bahwa masih ada kebutuhan lain yang harus dipenuhi, yaitu teknologi untuk pembuatan casing.

Interaksi dengan teknologi *3D printing* dimulai ketika kebutuhan akan pembuatan casing produk penelitian muncul. Pada tahap awal, teknologi ini dimanfaatkan semata-mata sebagai alat bantu dalam proses produksi. Namun, seiring berjalan waktu, minat untuk mengembangkan mesin *3D printing* secara mandiri mulai tumbuh diarahkan secara lebih serius. Dari proses tersebut, sejumlah pencapaian berhasil diraih. Salah satu inovasi yang dihasilkan adalah mesin 3D printer yang diberi nama **HALTech**, yang merupakan produk hasil karya anak bangsa dan telah memperoleh sertifikat **Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN)**. Saat ini, HALTech telah digunakan oleh berbagai institusi pendidikan dan penelitian di Indonesia. Dengan demikian, resolusi dan visi yang telah dirumuskan tidak hanya terwujud dalam bentuk tulisan atau publikasi ilmiah semata, tetapi telah diimplementasikan secara nyata melalui pengembangan produk yang memberikan manfaat langsung bagi kemajuan teknologi nasional.

Additive Manufacturing dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi

Hadirin yang saya muliakan,

Penggunaan teknologi *3D printing* atau *additive manufacturing* telah kami mulai sejak tahun 2014, pada saat teknologi tersebut masih tergolong baru dan belum banyak diadopsi di Indonesia. Pada waktu itu, teknologi ini dimanfaatkan sebagai teknologi pendukung pembuatan produk salah satunya untuk pembuatan casing pada robot rehabilitasi bagi pasien *pasca-stroke* seperti yang telah penulis uraikan sebelumnya (Herianto, Febryantho and Mastrisiswadi, 2019). Penggunaan *3D printing* dipilih karena proses pembuatan casing yang menarik secara desain umumnya memerlukan biaya yang tinggi serta waktu produksi yang cukup lama. Dengan adanya teknologi *additive manufacturing*, solusi yang lebih efisien dari segi biaya dan waktu dapat diwujudkan. Sejak saat itu, teknologi ini terus dimanfaatkan dalam proses pengembangan robot rehabilitasi, yang hingga kini masih terus disempurnakan sebagai bagian dari upaya peningkatan kualitas alat bantu medis dalam negeri.

Meskipun teknologi *additive manufacturing* telah mulai dimanfaatkan penulis sejak tahun 2014, penelitian yang lebih fokus terhadap teknologi ini baru secara intensif dilakukan pada tahun 2017. Pada tahap awal, fokus penelitian masih terbatas pada kajian dasar, khususnya terkait karakteristik mekanis dari produk hasil proses *additive manufacturing* serta upaya optimasinya (Andriyansyah, Herianto and Purfaji, 2018; Hasdiansah and Herianto, 2018; Pristiansya and Herianto, 2018; Herianto, Arifsa and Prastowo, 2019; Herianto, Setyadarma and Mastrisiswadi, 2019; Pamasaria, Herianto and Saputra, 2019; Saputra, Herianto and Pamasaria, 2019; Herianto, Atsani and Mastrisiswadi, 2020; Rohman, Rochardjo and Herianto, 2020; Herianto, Setyawan and Mastrisiswadi, 2022; Herianto *et al.*, 2023). Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan industri, pemanfaatan *additive manufacturing* mulai meluas. Dalam perjalanannya, teknologi ini tidak hanya digunakan untuk mendukung pengembangan berkelanjutan dari robot rehabilitasi bagi pasien *pasca-stroke*, tetapi juga telah diadopsi ke berbagai sektor lain. Beberapa bidang yang telah dijajaki meliputi industri makanan seperti cokelat (Pratama and Herianto, 2023) dan pancake (Assidiq, Mastrisiswadi and

Herianto, 2023), produk furnitur di Jepara (Djorgie *et al.*, 2024), perangkat sensor (Hakim, Herianto and Muflikhun, 2024; Hakim, Alfarras, *et al.*, 2025; Hakim, Herianto, *et al.*, 2025), *insole* sepatu, *soft robotics* (Herianto *et al.*, 2019, 2024; Ritonga *et al.*, 2023; Mastrisiswadi *et al.*, 2024), hingga pengembangan terkini yang difokuskan pada aplikasi teknologi ini dalam bidang kedokteran gigi.

Pendidikan

Salah satu kewajiban utama seorang dosen adalah menjalankan tugas pengajaran. Aktivitas mengajar akan menjadi lebih bermakna dan berdampak apabila materi yang disampaikan sesuai dengan kompetensi keilmuan yang dimiliki. Seorang dosen tentu akan berupaya agar mata kuliah yang diajarkan dapat memberikan manfaat, baik bagi mahasiswa di masa kini maupun di masa yang akan datang.

Mata kuliah *3D Printing*, yang merupakan bagian dari kurikulum di Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM, termasuk dalam kategori mata kuliah baru pada tahun 2017. Oleh karena itu, diperlukan upaya khusus dari dosen pengampu untuk menyusun bahan ajar yang menarik, relevan, dan bermanfaat.

Materi pembelajaran yang dikembangkan dari hasil penelitian memberikan nilai tambah yang signifikan, dibandingkan dengan pengajaran yang hanya mengandalkan buku teks tanpa pengalaman langsung.

UGM memiliki keunggulan karena telah memulai lebih awal kegiatan penelitian yang berfokus pada bidang *additive manufacturing*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, telah diterbitkan beberapa buku yang secara khusus membahas tentang *3D printing*. Saat ini, teknologi *3D printing* telah digunakan secara luas oleh dosen, peneliti, dan mahasiswa dalam berbagai kegiatan penelitian dan lomba kemahasiswaan.

Sejalan dengan semakin berkembangnya jumlah penelitian di bidang *additive manufacturing*, saya meyakini bahwa di masa mendatang akan lahir berbagai inovasi luar biasa di bidang teknologi. Mengingat bahwa *additive manufacturing* masih tergolong sebagai teknologi baru, posisi Indonesia saat ini masih cukup kompetitif,

bahkan tidak tertinggal jauh dibandingkan penelitian-penelitian serupa di luar negeri.

Penelitian

Penelitian di bidang *additive manufacturing* telah dimulai sejak sekitar tahun 2014, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Pada tahap awal, teknologi ini dimanfaatkan untuk pembuatan berbagai komponen pendukung dalam kegiatan penelitian. Selama periode 2014 hingga 2016, *additive manufacturing* digunakan secara intensif di Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM dalam pengembangan robot rehabilitasi untuk pasien pasca-stroke.

Memasuki tahun 2016, dilakukan inisiasi penelitian untuk merancang dan membangun mesin *3D printing* lokal. Mengacu pada penelitian tersebut, lahirlah mesin **HALTech**, sebuah printer 3D karya anak bangsa dengan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). Keberhasilan dalam membangun mesin ini mendorong munculnya berbagai ide penelitian lanjutan.

Sekitar tahun 2019, dilakukan penelitian terkait *soft pneumatic actuator* (Herianto *et al.*, 2019), yang memungkinkan berkat dukungan mesin HALTech yang telah mampu melakukan proses pencetakan material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) (Bates, Farrow and Trask, 2016; Kim *et al.*, 2017), sebuah material elastis yang saat itu masih sulit diproses dengan mesin *3D printing* komersial. Dengan kemampuan untuk mengembangkan mesin sendiri, penelitian dalam bidang ini dapat dilaksanakan secara mandiri.

Pada tahun yang sama, dilakukan pula penelitian terkait prediksi perkembangan teknologi *3D printing* di Indonesia pada tahun 2025, dengan tujuan untuk merumuskan arah strategis pengembangan teknologi *additive manufacturing* di dalam negeri. Salah satu hasil lanjutan dari riset tersebut adalah pengembangan *custom 3D printer* untuk makanan, dimulai dari bahan dasar seperti cokelat.

Seiring dengan meningkatnya aktivitas percetakan 3D, disadari bahwa proses ini juga menghasilkan limbah berupa sisa material dan produk gagal, yang berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan riset terkait *recycling* limbah

3D printing, sebagai bagian dari upaya menuju keberlanjutan teknologi (Herianto, Atsani and Mastrisiswadi, 2020).

Melihat semakin pesatnya perkembangan teknologi dalam bidang *additive manufacturing*, fokus penelitian kemudian diarahkan pada pengembangan aplikasi lintas disiplin. Kolaborasi dilakukan dengan Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan (FK-KMK) UGM, khususnya untuk mendukung pengembangan produk bagi dokter spesialis jantung dan anatomi serta dengan Fakultas Kedokteran Gigi (FKG) untuk mengembangkan *dental phantom* dan aplikasi *3D printing for dentistry*. Saat ini, penelitian juga sedang diarahkan pada pengembangan *custom insole* berbasis teknologi *additive manufacturing*, yang ditujukan untuk meningkatkan kenyamanan dan produktivitas manusia.

Selain itu, dalam rangka memperluas peran teknologi ini dalam sektor agroindustri, telah dilakukan kolaborasi untuk mengembangkan daging tiruan (*plant-based meat*) dengan pendekatan *additive manufacturing*.

Melalui seluruh inisiatif tersebut, penulis berharap bahwa *additive manufacturing* dapat berkontribusi secara luas di berbagai sektor, demi satu tujuan bersama: **Indonesia yang maju dan berdaya saing global**.

Pengabdian

Pemerintah Indonesia secara resmi meluncurkan peta jalan ***Making Indonesia 4.0*** pada tanggal 4 April 2018 sebagai strategi nasional dalam membangun industri manufaktur yang tangguh dan berdaya saing global. Dalam *roadmap* tersebut, *3D printing* atau *additive manufacturing* disebut sebagai salah satu teknologi kunci yang akan mendorong transformasi industri nasional menuju era Industri 4.0.

Penelitian-penelitian pada bidang *additive manufacturing* yang dilakukan oleh UGM turut berkontribusi dalam mendukung agenda nasional tersebut. Keikutsertaan tim peneliti dari UGM dalam acara peluncuran *Making Indonesia 4.0* menjadi salah satu bentuk pengakuan atas kontribusi akademik terhadap pembangunan industri nasional. Pasca acara tersebut, tim *Additive Manufacturing* UGM dipercaya

untuk memberikan pendampingan kepada SMK-SMK di Indonesia dalam mengenalkan dan menyebarluaskan teknologi *3D printing*.

Upaya ini kemudian berujung pada terbentuknya Asosiasi *3D Printing* Indonesia, sebagai wadah kolaboratif antara akademisi, praktisi, dan dunia industri dalam mengembangkan ekosistem teknologi *additive manufacturing* di Indonesia.

Pada masa pandemi Covid-19 tahun 2020, tim *Additive Manufacturing* UGM kembali menunjukkan peran strategisnya melalui pengembangan dan produksi *face shield* sebagai alat pelindung diri bagi tenaga medis dan masyarakat umum. Dalam situasi darurat tersebut, teknologi *additive manufacturing* terbukti mampu memberikan solusi cepat dan tepat untuk memenuhi kebutuhan alat kesehatan yang sangat mendesak.

Pandemi telah menjadi momentum penting yang memperlihatkan potensi besar *additive manufacturing* sebagai teknologi masa depan. Kemampuannya dalam mendukung inovasi, fleksibilitas produksi, dan respons terhadap krisis menjadikannya salah satu pilar penting dalam pembangunan teknologi nasional yang berkelanjutan.

Teknologi *additive manufacturing* telah memberikan kontribusi nyata dalam pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya dalam bidang pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Sebagai salah satu teknologi kunci dalam era Industri 4.0, penerapan teknologi *additive manufacturing* di UGM tidak hanya terbatas pada kegiatan akademik, tetapi juga telah mendorong lahirnya berbagai usaha rintisan (*start-up*) yang dikelola oleh alumni UGM.

Beberapa perusahaan rintisan yang lahir dari ekosistem ini antara lain: PT Centra Teknologi Indonesia, yang bergerak di bidang inovasi teknologi manufaktur dan pengembangan sistem industri berbasis digital; CV ACTA Tekno Innava, yang fokus pada riset dan pengembangan teknologi berbasis kebutuhan industri lokal; dan HALPoint *Creative Space*, sebuah ruang kreatif berbasis teknologi yang mendukung kolaborasi dan pengembangan produk inovatif.

Ketiga usaha rintisan tersebut merupakan contoh nyata bagaimana pengetahuan dan pengalaman di bidang *additive manufacturing* dapat diterjemahkan ke dalam bentuk usaha yang produktif dan berkelanjutan. Tidak hanya mendorong pengembangan

teknologi dalam negeri, keberadaan perusahaan-perusahaan rintisan ini juga turut memberikan kontribusi sosial, khususnya dalam penyerapan tenaga kerja dan pengurangan angka pengangguran. Inilah salah satu bentuk nyata kontribusi UGM dalam menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya dalam aspek pengabdian kepada masyarakat dalam upaya **mewujudkan kampus berdampak**.

Transformasi Industri Menuju Era Industri 5.0 dan *Cloud Manufacturing*

Segenap hadirin yang saya hormati,

Belum sepenuhnya tuntas dalam memahami dan mengadopsi konsep Industri 4.0, dunia industri kini kembali dihadapkan pada tantangan baru melalui hadirnya paradigma Industri 5.0. Konsep ini mulai diperkenalkan sebagai respons terhadap dinamika global yang semakin kompleks. Tidak hanya menekankan efisiensi dan otomatisasi, Industri 5.0 juga menekankan aspek keberlanjutan, kolaborasi antara manusia dan mesin, serta pentingnya nilai-nilai kemanusiaan dalam proses industrialisasi (Leng *et al.*, 2022).

Di sisi lain, pasar internasional menunjukkan pertumbuhan yang semakin kompetitif dan positif. Perkembangan ini mendorong industri untuk beradaptasi dengan cepat. Proses produksi dituntut untuk menjadi lebih cepat, hemat biaya, serta menghasilkan produk yang berkualitas tinggi. Selain itu, tren global menunjukkan peningkatan minat konsumen terhadap produk-produk kustom (*customized products*), yang dinilai lebih unggul dibandingkan produk massal (Saniuk, Grabowska and Fahlevi, 2023). Konsumen kini menginginkan keunikan, fleksibilitas, dan personalisasi dalam setiap produk yang mereka beli.

Tuntutan ini tidak lagi dapat dipenuhi dengan metode manufaktur konvensional yang mengandalkan peralatan tradisional. Untuk menjawab kebutuhan produksi yang cepat, murah, dan terkustomisasi, dunia industri harus beralih ke teknologi manufaktur baru yang lebih adaptif dan efisien. Akibatnya, industri-industri baru berbasis teknologi canggih mulai bermunculan dan berpotensi menjadi pesaing serius bagi industri yang sudah ada. Di Indonesia, tantangan semakin besar karena

kompetisi juga datang dari produk luar negeri yang masuk ke pasar domestik dengan harga murah dan kualitas yang tinggi.

Salah satu pendekatan yang semakin relevan dalam konteks ini adalah konsep desentralisasi manufaktur. Proses produksi kini diarahkan agar lebih dekat dengan konsumen. Jika sebelumnya barang hasil produksi tersentralisasi proses manufakturnya, maka di masa depan proses manufaktur akan terdesentralisasi dan tersebar, memungkinkan pengiriman lebih cepat karena lokasi produksi sudah dekat dengan pelanggan akhir (Kendrick, Dhokia and Newman, 2017; Sari *et al.*, 2022, 2023a, 2023b, 2024).

Teknologi *Additive Manufacturing* (AM) (Georgopoulou *et al.*, 2021; Bruère *et al.*, 2023), atau yang lebih dikenal sebagai *3D printing*, menjadi kunci dalam mendukung desentralisasi ini. AM memungkinkan pembuatan objek melalui proses penambahan material secara bertahap berdasarkan model digital. Berkembangnya teknologi *cloud manufacturing* (Sugarindra, Tontowi, and Herianto, 2024), turut berperan dalam mendukung peran AM untuk merealisasikan desentralisasi manufaktur. Melalui koneksi internet dan integrasi sistem berbasis *cloud*, desain produk dapat dikirim secara *real-time* ke berbagai lokasi produksi yang memiliki mesin *3D printing*, tanpa perlu memindahkan material mentah atau peralatan produksi (Haghnegahdar, Joshi and Dahotre, 2022).

Lebih lanjut, AM memberikan keuntungan signifikan dalam efisiensi sumber daya, percepatan waktu produksi, dan pemenuhan permintaan produk yang sangat terpersonalisasi (Mehrpouya *et al.*, 2021). File desain CAD dapat disimpan dan dikelola di platform *cloud*, memungkinkan kolaborasi simultan antara desainer, produsen, dan klien dalam satu ekosistem digital. Proses iterasi produk menjadi lebih cepat dan mendukung model produksi sesuai permintaan (*on-demand manufacturing*), yang dapat mengurangi limbah dan kebutuhan penyimpanan inventaris (Ford and Despeisse, 2016).

Integrasi AM dalam *cloud manufacturing* juga membuka jalan menuju konsep *manufacturing-as-a-service* di mana perusahaan tidak perlu lagi memiliki mesin produksi sendiri. Mereka cukup mengakses jaringan layanan manufaktur global sebagai pihak ke-3 yang memberikan layanan produksi melalui platform *cloud*. Dengan

demikian, AM tidak hanya menjadi teknologi produksi, tetapi juga motor penggerak transformasi digital industri manufaktur—menuju sistem yang lebih adaptif, hemat biaya, dan berbasis data.

Insight dan Refleksi

Yang saya hormati. Bapak/Ibu hadirin sekalian,

Seperti yang telah penulis uraikan sebelumnya, teknologi *Additive Manufacturing* (AM) merupakan sebuah solusi strategis dalam peningkatan dan pengembangan industri nasional. Teknologi ini tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan industri berskala kecil dan menengah, tetapi juga dapat diimplementasikan pada sektor industri besar. Keunggulan utama dari teknologi ini terletak pada fleksibilitasnya. AM hadir dalam berbagai jenis model, ukuran, material, dan fungsi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Peralatan yang digunakan relatif sederhana dan ringan, memungkinkan proses distribusi ke wilayah-wilayah terpencil atau luar pulau secara lebih cepat dan efisien, berbeda dengan mesin industri konvensional yang cenderung besar dan berat. Oleh karena itu, teknologi ini sangat potensial untuk diterapkan di industri rumahan dan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM).

Proses pemanfaatan teknologi *Additive Manufacturing* (AM) tergolong sederhana. Hanya dengan berbekal desain tiga dimensi (3D), sebuah produk dapat dicetak secara langsung dari lokasi mana pun. Salah satu studi kasus yang penulis lakukan telah memperlihatkan manfaat nyata dari teknologi ini. Dalam kerja sama dengan industri mebel di Jepara, sebelumnya contoh produk fisik diproduksi di Amerika Serikat melalui metode konvensional, dan kemudian dikirim ke Jepara untuk diduplikasi, yang selanjutnya dikembalikan ke Amerika Serikat. Proses tersebut memerlukan waktu yang lama serta biaya yang tidak sedikit. Namun melalui penerapan teknologi AM, desain produk cukup dikirim dalam bentuk file digital 3D. AM berperan dalam membuat contoh produk fisik yang kemudian diduplikasikan menjadi produk kayu oleh pengrajin lokal. Alhasil, proses produksi menjadi jauh lebih cepat dan efisien secara biaya. Berdasarkan studi kasus ini, diperoleh temuan bahwa masih banyak pelaku industri yang belum mengadopsi

teknologi baru seperti AM, padahal manfaat yang ditawarkan sangat signifikan.

Lebih dari itu, riset mengenai *additive manufacturing* masih sangat terbuka luas. Masih dibutuhkan banyak peneliti untuk mengembangkan dan mengaplikasikannya secara maksimal. Selain di bidang manufaktur, teknologi ini juga dapat diterapkan dalam berbagai sektor lain, seperti kesehatan, industri makanan, furnitur, dan lain sebagainya. Semakin dieksplorasi, semakin besar potensi teknologi ini untuk menghadirkan inovasi baru dan setiap inovasi baru membuka peluang eksplorasi lanjutan yang bisa mendorong lahirnya lompatan-lompatan teknologi berikutnya.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan masih bersifat awal dan terbatas. Namun dengan dukungan dari para akademisi, pemerintah, dan pelaku industri, penulis berharap hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan secara luas. Harapannya, Universitas Gadjah Mada (UGM) dapat menjadi pelopor dalam pengembangan teknologi nasional secara khusus, dan berkontribusi pada kemajuan industri Indonesia secara umum.

Sejak 4 April 2018, Indonesia telah mendeklarasikan “*Making Indonesia 4.0*” sebagai strategi nasional. Oleh karena itu, sudah semestinya kita turut serta dalam arus transformasi ini, tidak hanya menjadikan istilah “Industri 4.0” sebagai slogan semata, tetapi dengan aksi nyata. Teknologi AM menjadi salah satu kunci penting dalam implementasi Industri 4.0.

Jogja terkenal dengan Taman Pintarnya. Saya membayangkan taman pintar dapat hadir bukan hanya di tingkat provinsi, melainkan juga menjangkau kabupaten, kecamatan, desa, padukuhan, hingga ke tingkat RT/RW. Ketika konsep ini terwujud, kebangkitan teknologi nasional hanyalah soal waktu. Dalam konteks tersebut, konsep “*Home As Lab*” (HAL), sangat mungkin dapat menjadi sebuah gerakan bersama untuk mempercepat pengembangan teknologi.

Mengintegrasikan konsep HAL, 3D *printing*, dan berbagai teknologi lainnya adalah sebuah lompatan ide yang perlu didukung bersama. Penulis berharap, tulisan singkat ini dapat menjadi kontribusi kecil dalam mendorong kemajuan pendidikan dan teknologi di

Indonesia. Karena penulis yakin, pendidikan adalah kunci utama untuk mengubah masa depan bangsa dalam menembus batas inovasi.

“Dari *Additive Manufacturing* Kita Kembangkan Teknologi Anak Bangsa, untuk Indonesia Menuju Pentas Dunia”

Ucapan Terima Kasih

Pimpinan sidang dan Bapak/Ibu hadirin yang saya muliakan,

Sebagai penutup pidato ini, izinkan saya mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah *subhanahu wa ta'ala* karena atas izin, rahmat dan karunia-Nya lah saya dapat melalui semua proses menuju Guru Besar dan dapat menyampaikan pidato Pengukuhan Guru Besar pada hari yang sangat istimewa ini.

Amanah jabatan Guru Besar ini telah melalui jalur panjang yang melibatkan banyak individu dan kerja kolektif. Kepada mereka, saya ucapkan terima kasih yang tak terhingga. Kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk menduduki jabatan akademik tertinggi sebagai Guru Besar dalam Bidang **Sistem Manufaktur Aditif** di Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Rektor beserta jajarannya, Pimpinan dan Anggota Senat Akademik, Dewan Guru Besar, dan Tim Penilai Angka Kredit Universitas yang telah menyetujui dan mengusulkan jabatan saya.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Ketua dan Pengurus Departemen Teknik Mesin dan Industri, Dekan dan Pengurus Fakultas Teknik, Ketua beserta Anggota Senat Fakultas Teknik, Ketua beserta Anggota Senat Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, yang telah menyetujui dan mengusulkan pengangkatan Guru Besar ini. Kemudian terima kasih saya sampaikan kepada tim SDM di Departemen, Fakultas dan Universitas, Mbak Rita, Mbak Ana, Bu Kenok dan lainnya yang kami tidak bisa sebutkan satu persatu atas bantuan dan kerja samanya yang sangat baik selama menyiapkan dokumen dan proses penilaian.

Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada semua Bapak/Ibu guru saya di SD Negeri Jatibarang Lor II, SMP Negeri 1 Slawi, SMA Negeri 1 Tegal, Jawa Tengah yang telah

memberikan dasar pendidikan yang sangat kuat, bermanfaat dan memberikan warna tersendiri bagi saya dalam melanjutkan pendidikan ke jenjang-jenjang berikutnya.

Terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada seluruh dosen dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih secara khusus saya sampaikan kepada dosen pembimbing akademik saya Ir. R. Soekrisno, M.Sc., Ph.D., dan Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA., IPM., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing skripsi saya yang dengan sabar memberikan waktunya untuk membimbing saya dan telah memberikan motivasi dan rekomendasi agar saya menjadi dosen meski sebelumnya tidak ada sedikit pun mimpi jadi dosen. Prof. Zahari Taha selalu membimbing tesis, yang telah mengajari saya untuk tidak takut berinovasi dan Prof. Kurabayashi Daisuke yang telah menumbuhkan kepercayaan diri kepada saya dengan memberikan gelar doktor yang sangat istimewa bagi saya. Satu kalimat yang saya ingat selalu *“The most important thing right now is to get your degree, and I'm sure you'll be successful in the future”*. Terima kasih prof. Kurabayashi, kalimat ini sangat memotivasi saya untuk selalu berusaha yang terbaik. JICA AUN/SEED-Net melalui Mr. Umemiya yang memberikan *support* selama menempuh S2, S3 dan beberapa tahun setelah kembali ke Indonesia.

Salam hormat dan terima kasih saya haturkan untuk guru-guru saya di Fakultas Teknik UGM, Prof. Ir. Sudjarwadi M.Eng., Ph.D., (alm.), Prof. Ir. Wahyudi Budi Setiawan, SU., Ph.D. (alm.), Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., IPU., Prof. Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng., IPU, ASEAN Eng., Prof. Ir. Nizam, M.Sc., Ph.D., IPU, Asean Eng., dan Ir. Muhammad Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D., IPU.

Guru saya di DTMI, Ir. Tjahjana Adi MSME. (alm), Ir. Samsudin (alm), Ir. Sugijarto Prawirosentono, Ir. Arief Darmawan, Ir. Gregorius Harjanto, Ir. Purnomo, MSME., Ph.D., Ir. Endang Rukmini P. (alm.), Ir. Subagio, M.Sc. (alm.), Ir. Sunardjo, M.T. (alm.), Ir. I Made Suardjaja, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Sutrisno, MSME, Ph.D. (alm). Dr. Ir. Prajitno, M.T., Ir. Hermawan, M.Si., Dr. Ir. Subarmono, (alm), Dr. Ir. Mudjijana, M.Eng., Prof. Ir. Samsul Kamal, M.Sc., Ph.D., Ir. Janu Pardadi, M.T., Dr. Ir. Teguh Pudji Purwanto, Dr. Ir., Victor Malau, DEA., Dr. Ir.

Suhanan, DEA., M.T., IPM., ASEAN Eng., Dr. Tri Agung R., B.Eng, M.Eng. (alm.), Prof. Dr. Ir. Suyitno, M.Sc., IPM., dan Sugiyono, S.T., M.T., Ph.D. (alm.).

Guru dan senior saya di DTMI Prof. Dr. Ir. Harwin Saptoadi, M.SE., IPM., ASEAN Eng., Prof. Ir. Heru Santoso Budi Rochardjo, M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Prof. Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Prof. Ir. Jamasri, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Ir. Joko Waluyo, M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Rini Dharmastiti, M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Prof. Ir. Mochammad Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Dr. Ir. Khasani, S.T., M.Eng, IPM., ASEAN Eng., Ir. Muhammad Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D., IPU., Dr.Eng. Ir. Muh Arif Wibisono, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., Ir. Subagyo, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Dr. Eng. Ir. R. Rachmat A. Sriwijaya, S.T., M.T., D.Eng., IPM., ASEAN Eng., Ir. Priyo Tri Iswanto, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Dr. Ir. Urip Agus Salim, ST., M.Eng.Sc., Prof. Dr. Ir. Gesang Nugroho, S.T., M.T., IPM. Ir. Muhammad Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Prof. Dr. Eng. Ir. Deendarlianto, S.T., M.Eng., Prof. Dr. Ir. Kusmono, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., Ir. Hari Agung Yuniarto, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Dr. Ir. Jayan Sentanuhady, S.T., M.Eng., IPU., ASEAN Eng., Dr. Ir. I Made Miasa, S.T., M.Sc., Ir. Andi Rahadiyan Wijaya, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Andi Sudiarmo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., MPM, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Ir. Anna Maria Sri Asih, S.T., M.M., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Prof. Ir. Nur Aini Masruroh, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., dan Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.,

Teman dan adik-adik yang bersama-sama memilih untuk mendedikasikan dirinya menjadi dosen, Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc., Ir. Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. I Gusti Bagus Budi Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Dr. Eng. Ir. Adhika Widyaparaga, S.T., M. Biomed., Ir. Agus Darmawan, S.T., M.S., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Muhammad Agung Bramantya, S.T., MT., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.,

ASEAN Eng., Dr. Eng. Ir. Titis Wijayanto, S.T., M.Des., IPM., ASEAN Eng., Dr. Ir. Budi Arifvianto, S.T., M.Biotech., Ir. Ryan Anugrah Putra, S.T., M.Sc., M.Eng., Dr. Ir. Hifni Mukhtar Ariyadi, S.T., M.Sc., IPM., Ir. Nur Mayke Eka Normasari, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Budhi Sholeh Wibowo, S.T., M.T., M.BA., PDEng., IPM., ASEAN Eng., Robertus Dhimas Dhewangga Putra, S.T., M.Eng., Ph.D., Ir. Muhammad Akhsin Muflikhun, S.T., MSME., Ph.D., Ir. Orchida Dianita, S.T, M.BA, M.Sc, Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Prastowo Murti, S.Si., M.Eng., Ph.D., Ir. Fitri Trapsilawati, S.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Sinta Rahmawidya Sulisty, S.T., MSIE., Ph.D., IPM., Ir. Hilya Mudrika Arini, S.T., M.Sc., M.Phil., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Ardiyanto, S.T., M.Sc., Ph.D., AEP, IPM, Ir. Achmad Pratama Rifai, S.T, M.Eng, Ph.D., Akmal Irfan Majid, S.T., M.Eng., Ph.D., Shakti Nuryadin, S.T., M.Eng., Ir. Wangi Pandan Sari, S.T., M.Sc., Ph.D., Ir. Yun Prihantina Mulyani, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Rachmadi Norcahyo, S.T., M.T, Ir. Dawi Karomati Baroroh, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM, Ir. Arif Widyatama, S.T., M.Eng., Dhyana Paramita, S.T., M.Sc., Erny Rahayu Wijayanti, S.Si., M.S., M.Sc, Ardi Wiranata, S.T, M.Eng., Ph.D., Ir. Mohammad Rais Alfiansyah T, S.T., M.Sc., Ir. Willie Prasidha, S.T., M.Eng., Burhan Febrinawarta, S.T., M.T., Syahirul Alim Ritonga, S.T., MRes., Ir. Sekar Sakti, S.T., M.BA., M.Sc., Ph.D., Muhammad Aulia Rahman, S.T., M.Sc., dan Anas Saifurrahman, S.T., M.B.A., M.Sc.

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada jajaran Dekanat FT UGM yang telah bersama-sama dalam mengarungi bersama dalam mewujudkan Teknik Jaya. Prof. Ir. Selo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Prof Dr. Ir Sugeng Sapto Surjono, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng., Prof. Ir. Muslikhin Hidayat, ST, MT, Ph.D., IPU., Ir. Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., ACPE, Prof. Ir. Tumiran, M.Eng., Ph.D., Prof. Ir. Lukito Edi Nugroho, M.Sc., Ph.D. Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, ST., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Dr. Ahmad Nasikun, S. T., M.Sc., Prof. Dr. Ir. Faridah, S.T., M.Sc., IPU., Dr. Ir. Inggar Septhia Irawati, S.T., M.T., IPM., Jimly Al Faraby, S.T., M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. Bambang Kun Cahyono, S.T., M.Sc., IPU., Pak Doni, Mas Purwoko, Mbak Rita, Bu Suryani, Mas Frenky, Mbak Indha, Mbak Eny. Tim P2MKA yang sangat energik dan tim ERIC yang luar

biasa. Terima kasih pak Dekan dan Pak WD semuanya yang telah mengajari saya untuk berani mengambil risiko demi sebuah mimpi dan kebaikan serta manfaat yang akan dirasakan banyak orang.

Terima kasih kepada Pembina dan tim Pendukung PKM UGM: Dr. dr. Indwiani Astuti (Bu Ani), Pak Sentot, Pak Endy, Pak Wahyu, Pak Barandi, Pak Edi Sur, Pak Ronggo, Pak Maun, Pak Hendri, Pak Suherman, Pak Fakhrudin, Pak Prpto, Pak Bagus, Pak Fajar, Pak Budi, Pak Dian, Pak Vista, Pak Widagdo, Bu Upik, Bu Arta, Bu Retno, Bu Pri, Bu Mona, Bu Sartini, Bu Muthi', Pak Direktur Kemahasiswaan UGM beserta jajarannya, dan adik-adik PKM *Center* yang luar biasa.

Terima kasih kepada jajaran Direktorat Pengembangan Usaha UGM, Pak Hargo, Pak Kompiang dan tim yang selalu memberikan *support* dalam segala kreativitas dan inovasi yang kami lakukan. Kepada Direktorat Penelitian yang memberikan *support* kepada kami untuk bisa terus meneliti. Direktorat Pengabdian kepada Masyarakat yang memberikan kepercayaan kepada kami untuk berkontribusi dalam mengaplikasikan ilmu kami untuk masyarakat.

Terima kasih kepada Gadjah Mada Robotic Team (GMRT) UGM baik dosen, mahasiswa dan alumni yang sangat memberikan kesan luar biasa pada masa kejayaannya. GMRT UGM adalah salah satu komunitas tertua yang telah menginspirasi lahirnya komunitas lainnya di UGM. Semoga GMRT UGM akan bangkit kembali.

Tim Belmawa PKM/PIMNAS, Para Juri PIMNAS, Reviewer PKM, dan seluruh pembina kemahasiswaan di Indonesia. Semoga kita semua bisa terus semangat membimbing mahasiswa. Tim program *Startup for Industry* Kementerian Perindustrian melalui Direktorat Jenderal Industri Kecil, Menengah dan Aneka yang telah memberikan saya kesempatan untuk menjadi juri sebagai bentuk dukungan kampus dalam melahirkan ekosistem *startup* di Indonesia.

Komunitas Gen Emas (Generasi Emas PIMNAS), GE Pro, PT Centra Teknologi Indonesia, Geevee Ergo, CV Acta Tekno Innaya, HALTech, HALPoint, Hikari *Dental Care*, Wafi *Dental Care*, Enha *Dental Care* dan HALPoint yang berisi mahasiswa dan alumni yang luar biasa dengan mimpinya yang sangat mulia. Tetap semangatlah karena kalian adalah orang-orang luar biasa. Semoga keuletan,

kegigihan dan kesabaran kalian semua akan membuahkan hasil dan dikenang selalu.

Unit Percepatan Pencapaian Renstra (UP2R) UGM yang dibentuk Prof. Sudjarwadi sekitar tahun 2010an yang terdiri atas puluhan doktor muda UGM saat itu. UP2R kini telah menjelma menjadi dosen-dosen yang luar biasa. Terima kasih Prof. Sudjarwadi, semoga semua yang engkau inisiasi menjadi amal jariah yang pahalanya akan terus mengalir. Aamiin.

Teman-teman SD, SMP, SMA, S1, S2 dan S3 yang selalu ada kenangan dalam setiap momennya. Teman-teman KIPMI (Komunitas Ilmuwan dan Profesional Muslim Indonesia) yang menjadi inspirasi saya untuk terus semangat dalam menyeimbangkan antara kecerdasan intelektual dan kecerdasan spiritual.

Pengurus dan anggota asosiasi 3DP yang sangat luar biasa yang menjadi tempat untuk terus beraktivitas sesuai profesi dan bidang yang ditekuni. Mitra-mitra penelitian kami yang terus memberikan *support* dalam penelitian yang kami lakukan dan terus memotivasi kami untuk berkolaborasi dalam menghilirkan produk penelitian.

Kepada seluruh anggota Forum Dosen dan Guru Besar Brebes yang sangat luar biasa. Meski sudah sukses dan tidak lagi berada di Brebes tetapi Ibu/Bapak semua masih memikirkan untuk memajukan bersama dan memberikan kontribusi pikiran untuk kemajuan Brebes tercinta.

Terima kasih kepada rekan-rekan pengurus RT 07, RT 08, RW 31 Padukuhan Gejayan, mari terus semangat untuk Gejayan yang lebih baik. Terima kasih juga kepada Kepala Padukuhan Gejayan dan warga yang telah memberikan kami izin untuk tinggal dan memberikan suasana warga yang penuh keakraban dan saling pengertian.

Jamaah Masjid Baiturrahman, Masjid Baiturrahiim, Pengurus Yayasan Nur Baiturrahman, Yayasan Raajunajjah dan teman-teman Haji 2024 Rombongan 7 Kloter 53 SOC yang memberikan pelajaran spiritual akan arti sebuah kebersamaan dan keikhlasan.

Bapa (Ayah) dan Mama (Ibu) serta kakek (alm.) yang sangat menginspirasi bagi saya. Ayah yang meski hanya lulusan SD tetapi mempunyai visi masa depan yang luar biasa tentang pendidikan. Ayah yang selalu mengingatkan saya akan pentingnya pendidikan jika saya

ingin sukses di masa depan dan mendapatkan hidup yang lebih baik. Ibu yang rela berjualan tahu di pasar saat saya kuliah demi mencukupi kebutuhan keluarga. Kakek yang menemani saya belajar dan terus memotivasi untuk menggapai mimpi masa depan. Paman dan tante serta seluruh keluarga besar Jatibarang Brebes yang luar biasa dan menjadi saksi hidup bagaimana Herianto kecil bertumbuh.

Eyang uthi (panggilan untuk ibu dari istri) dan Eyang kakung (ayah dari istri) (alm.) yang selalu mendidik kami dengan kesabaran dan yang selalu mendoakan kami semua agar bisa menjadi lebih baik. Satu penyesalan adalah karena kami tidak sempat mengabarkan langsung kepada beliau tentang berita baik ini, karena kami belum mendapatkan info resmi saat itu. Ternyata Allah telah memanggil beliau sebelum kami sempat memberikan kabar baik ini. Inilah alasan saya untuk memilih pengukuhan di bulan ini. Kepada keluarga besar Hardjo Soedarmo dan Hardjo Soetjipto saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua dukungan yang selalu diberikan untuk saya dan keluarga.

Istriku Indra Bramanti, tidak ada kata yang cukup untuk mengungkapkan betapa besar peran engkau dalam perjalanan ini. Engkau dengan setia menemani perjalanan ini. Engkau rela untuk menjaga anak-anak di Jogja saat suamimu ini harus mengambil S2 di Malaysia. Engkau rela menjadi teman saat S3 di Jepang sambil mendidik dua anak dan membuat nasi halal untuk dijual di kampus. Engkau selalu memberi motivasi dikala hati ini sedang sedih atau galau meski engkau sendiri memiliki banyak beban yang harus ditanggung dari kampus. Semoga Allah memberikan kekuatan selalu kepada engkau dan Allah berikan jalan keluar yang terbaik. Yakinkanlah jika Allah tidak tidur dan semua kejadian adalah atas kehendak Allah.

Anakku, Zaki, Syafiq, Syauqi dan Syakira. Kalian pasti belajar banyak dari setiap kisah dan episode yang terjadi di rumah. Semoga ini semua dapat menjadi bekal kalian untuk sukses nanti karena generasi kalian mungkin akan berbeda dengan saat ini. Jadilah pembelajar sejati dengan tetap mengedepankan etika dan akhlak. Ingatlah *“Innallaha laa yughayyiru maa biqaumin hatta yughoyyiru maa bi anfusihim”* artinya: “Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum

sampai mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri.” (QS. Ar-Ra’d ayat 11).

Bapak/Ibu hadirin yang saya muliakan,

Ucapan terima kasih kami haturkan, kepada Bapak/Ibu yang telah hadir dalam acara ini. Saya menyadari bahwa dalam penyampaian yang saya lakukan barangkali masih banyak kurangnya, untuk itu, pada kesempatan ini, perkenankan saya untuk meminta maaf.

Akhir kata, saya ucapkan *Wassalamualaikum warahmatullahi wabarokatuh*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldahash, S.A. (2018) ‘Optimum manufacturing parameters in selective laser sintering of PA12 with white cement additives’, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96(1), pp. 257–270. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1584-y>.
- Alogla, A.A. *et al.* (2021) ‘The Impact of Additive Manufacturing on the Flexibility of a Manufacturing Supply Chain’, *Applied Sciences*, 11(8), p. 3707. Available at: <https://doi.org/10.3390/app11083707>.
- Andriyansyah, D., Herianto, H. and Purfaji, P. (2018) ‘OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP KUAT TARIK FILAMEN POLYLACTIC ACID MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI’, in *SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF*.
- Arendra, A. and Herianto (2020) ‘Pre-processing for vibration signals features extraction and selection in real time investigating of CNC tool wear’, *Journal of Physics: Conference Series*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032060>.
- Assidiq, A.A., Mastrisiswadi, H. and Herianto, H. (2023) ‘Parameter Optimization of Printcake Machine Using Full Factorial’, *Spektrum Industri*, 21(1), pp. 85–92. Available at: <https://doi.org/10.12928/si.v21i1.97>.
- Bates, S.R.G., Farrow, I.R. and Trask, R.S. (2016) ‘3D printed polyurethane honeycombs for repeated tailored energy absorption’, *Materials & Design*, 112, pp. 172–183. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.08.062>.
- Bruère, V.M. *et al.* (2023) ‘The influence of printing parameters on the mechanical properties of 3D printed TPU-based elastomers’, *Progress in Additive Manufacturing*, 8(4), pp. 693–701. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40964-023-00418-7>.
- Che, L. *Et al.* (2024) ‘Research on Fiber-Reinforced Selective Laser Sinter-Coated Sand Mold’, *Internasional Journal of*

- Metalcasting*, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40962-024-01503-5>.
- DeBoer, B. *et al.* (2021) ‘Additive, subtractive, and formative manufacturing of metal components: a life cycle assessment comparison’, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(1), pp. 413–432. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07173-5>.
- Dilberoglu, U.M., Simsek, Seyda and Yaman, U. (2019) ‘Shrinkage compensation approach proposed for ABS material in FDM process’, *Materials and Manufacturing Processes*, 34(9), pp. 993–998. Available at: <https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1594252>.
- Ding, Q. *et al.* (no date) ‘Anisotropy of poly(lactic acid)/carbon fiber composites prepared by fused deposition modeling’. Available at: <https://doi.org/10.1002/app.48786>.
- Djorgie, T. *et al.* (2024) ‘Pengaruh Penggunaan Prototype 3D Printing Berbahan PLA terhadap Tingkat Pemahaman Operator di Industri Furnitur (Studi Kasus di CV Kalingga Putra, Jepara)’, *Jurnal Teknik Industri (JATRI)*, 2(2).
- Dwiputra, F.A. *et al.* (2017) ‘Accelerometer-based recorder of fingers dynamic movements for post-stroke rehabilitation’, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. Available at: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.1.1973>.
- El-Hofy, H. (2018) *Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes, Third Edition*. 3rd edn. Boca Raton: CRC Press. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429443329>.
- Ford, S. and Despeisse, M. (2016) ‘Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges’, *Journal of Cleaner Production*, 137, pp. 1573–1587. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>
- Georgopoulou, A. *et al.* (2021) ‘A Sensorized Soft Pneumatic Actuator Fabricated with Extrusion-Based Additive Manufacturing’, *Actuators*, 10(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/act10050102>.

- Guo, C. *et al.* (2023) ‘Electrochemical and passive behaviors of Ti- Fe- B alloy manufactured via casting, forging and additive manufacturing’, *Materials Characterization*, 196, p. 112530. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112530>.
- Haghnegahdar, L., Joshi, S.S. and Dahotre, N.B. (2022) ‘From IoT-based cloud manufacturing approach to intelligent additive manufacturing: industrial Internet of Things—an overview’, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(3), pp. 1461–1478. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08436-x>.
- Hakim, M.L., Herianto, *et al.* (2025) ‘Durability against folded test of SR/CNT/SR flexible strain sensors for human therapy motion monitoring’, *Sensors and Actuators A: Physical*, 387, p. 116397. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2025.116397>.
- Hakim, M.L., Alfarros, Z., *et al.* (2025) ‘High sensitivity flexible strain sensor for motion monitoring based on MWCNT@MXene and silicone rubber’, *Scientific Reports*, 15(1), p. 3741. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88372-y>.
- Hakim, M.L., Herianto and Muflikhun, M.A. (2024) ‘Next-gen strain sensors: Self-healing, ultra-sensitive, lightweight, and durable MWCNT-silicone rubber for advanced human motion tracking’, *Journal of Engineering Research (Kuwait)*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.10.009>.
- Hamidah, A. *et al.* (2019) ‘Review on Machine Learning Applications in Assisted Treadmill for Stroke Rehabilitation’, *Proceeding - 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices, ISESD 2019*. Available at: <https://doi.org/10.1109/ISESD.2019.8909416>
- Hasan, D. A. and Herianto, H. (2014) ‘Pengukuran Kekasaran Permukaan Plat Aluminium Hasil Pemotongan Laser Cutting Dan Cnc Milling Pc-Based’, *ReTII* [Preprint]. Available at: <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/1036> (Accessed: 7 May 2025).
- Hasdiansah, H. and Herianto, H. (2018) ‘Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan’, *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi*

- Teknologi*), 2(1), pp. 187–192. Available at: <https://doi.org/10.29407/inotek.v2i1.481>.
- Herfurth, K. and Scharf, S. (2021) ‘Casting’, in K.-H. Grote and H. Hefazi (eds) *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. Cham: Springer International Publishing, pp. 325–356. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-47035-7_10.
- Herianto *et al.* (2019) ‘Design and fabrication in the loop of soft pneumatic actuators using fused deposition modelling’, *Sensors and Actuators A: Physical*, 298, p. 111556. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111556>.
- Herianto *et al.* (2023) ‘Effect of Shot Peening Parameters on PLA Parts Manufactured with Fused Deposition Modeling’, *Journal of Engineering and Technological Sciences*. Available at: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2023.55.5.1>.
- Herianto *et al.* (2024) ‘Characterization of 3D printed multi-material soft pneumatic actuator’, *International Journal of Intelligent Robotics and Applications* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41315-024-00395-2>.
- Herianto, Arifsa, F.B. and Prastowo, A. (2019) ‘Application of taguchi method in the optimization of 3D-printer process parameters for dimensional accuracy and surface roughness’, *Journal of Manufacturing Technology Research*.
- Herianto, Atsani, S.I. and Mastriswadi, H. (2020) ‘Recycled Polypropylene Filament for 3D Printer: Extrusion Process Parameter Optimization’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 722(1), p. 012022. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012022>.
- Herianto, Febryantho, I.A. and Mastriswadi, H. (2019) ‘Post-stroke rehabilitation robot for knee: a compact design and manufacture’, *Journal of Physics: Conference Series*, 1367(1), p. 012036. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012036>.
- Herianto, Herianto, Saryanto, W.Y. and Cahyadi, A.I. (2016) ‘Modeling and design of low cost lower limb rehabilitation robot control system for post-stroke patient using PWM controller’, *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*.

- Herianto, Riyadi, A.F. and Mastrisiswadi, H. (2020) ‘NCTF Control Performance Analysis on Rehabilitation Robot’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012021>.
- Herianto, Setyadarma, P.B. and Mastrisiswadi, H. (2019) ‘Surface finish machining optimization for 3D print’, *Journal of Physics: Conference Series*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1367/1/012035>.
- Herianto, Setyawan, M.R. and Mastrisiswadi, H. (2022) ‘3D Print Continuation Process Parameter Setting to Optimize the Tensile Strength’, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. Available at: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.1.13973>.
- Huynh, H.N. *et al.* (2024) ‘Researching Design and Fabricating Process for Orthopedic Trauma Brace Using FDM in Vietnam’, in *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Technologies. The International Conference on Sustainable Energy Technologies*, Springer, Singapore, pp. 309–317. Available at: https://doi.org/10.1007/978-981-97-1868-9_32
- Jeong, H.-G. (2024) ‘Analyzing South Korea’s Semiconductor Industry: Trade Dynamics and Global Position’. Rochester, NY: Social Science Research Network. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4854445>.
- Jeschke, S. *et al.* (2017) ‘Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems’, in S. Jeschke *et al.* (eds) *Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems*. Cham: Springer International Publishing, pp. 3–19. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7_1.
- Jhanji, A. *et al.* (2024) ‘Influence of the Initial Microstructure on the Mechanical Behavior During Forming for Inline Manufacturing Process Routes’, in *Proceedings of the 14th International Conference on the Technology of Plasticity - Current Trends in the Technology of Plasticity. International Conference on the Technology of Plasticity*, Springer, Cham, pp. 513–524. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-40920-2_53.

- Kendrick, B.A., Dhokia, V. and Newman, S.T. (2017) ‘Strategies to realize decentralized manufacture through hybrid manufacturing platforms’, *Robotics and Computer- Integrated Manufacturing*, 43, pp. 68–78. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.11.007>.
- Kim, K. *et al.* (2017) ‘3D printing of multiaxial force sensors using carbon nanotube (CNT)/thermoplastic polyurethane (TPU) filaments’, *Sensors and Actuators A: Physical*, 263, pp. 493–500. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.07.020>.
- Kılınç, A.Ç. *et al.* (2023) ‘Comparison of wear and mechanical properties of cast and 3D printed CuSn10 bronze alloy’, *Materials Testing*, 65(5), pp. 764–773. Available at: <https://doi.org/10.1515/mt-2022-0443>.
- Komara, A.I., Setiawan, R. and Budiwantoro, B. (2025) ‘Manufacturing process design for cellular structure used as impact energy absorbers’, *Journal of Physics: Conference Series*, 2972(1), p. 012057. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2972/1/012057>.
- Korycki, A. *et al.* (2022) ‘Optimization of Mechanical Properties and Manufacturing Time through Experimental and Statistical Analysis of Process Parameters in Selective Laser Sintering’, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022(1), p. 2526281. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/2526281>.
- Kumar, N. *et al.* (2022) ‘Lean manufacturing techniques and its implementation: A review’, *Materials Today: Proceedings*, 64, pp. 1188–1192. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>.
- Leng, J. *et al.* (2022) ‘Industry 5.0: Prospect and retrospect’, *Journal of Manufacturing Systems*, 65, pp. 279–295. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>.
- Lengua, C.A.G. (2017) ‘History of Rapid Prototyping’, in K.M.Farooqi (ed.) *Rapid Prototyping in Cardiac Disease: 3D Printing the Heart*. Cham: Springer International Publishing, pp. 3–7. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-53523-4_1.
- Lin, B., Wu, W. and Song, M. (2023) ‘Industry 4.0: driving factors and impacts on firm’s performance: an empirical study on China’s

- manufacturing industry’, *Annals of Operations Research*, 329(1), pp. 47–67. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03433-6>.
- Maristany, E. *et al.* (2024) ‘Economics of 3D printing ceramic cores for gas turbine investment castings’, *Additive Manufacturing Letters*, 10, p. 100223. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.addlet.2024.100223>.
- Mastrisiswadi, H. *et al.* (2024) ‘Systematic literature review of Fused Deposition Modeling (FDM) strain sensor and soft pneumatic actuator’, *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 8(3), pp. 787–805. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41315-024-00346-x>.
- Mastrisiswadi, H. and Herianto, H. (2015) ‘Identifikasi kebutuhan konsumen robot rehabilitasi pasien pasca stroke dengan menggunakan metode quality function deployment (QFD)’, in *SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS GADJAH MADA 2015*, pp. 27–36.
- Mastrisiswadi, H. and Herianto, H. (2017a) ‘Analisis kebutuhan robot rehabilitasi pasien pasca stroke dengan menggunakan metode Kano’, *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 15(2), pp. 151–156.
- Mastrisiswadi, H. and Herianto, H. (2017b) ‘Identifikasi kepentingan relatif konsumen terhadap robot rehabilitasi pasien pasca stroke dengan menggunakan conjoint analysis’, *J@ ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 12(1), pp. 35–42.
- Mehrpouya, M. *et al.* (2021) ‘Chapter 2 - The benefits of additive manufacturing for sustainable design and production’, in K. Gupta and K. Salonitis (eds) *Sustainable Manufacturing*. Elsevier (Handbooks in Advanced Manufacturing), pp. 29–59. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818115-7.00009-2>.
- Nugroho, K.A. and Herianto, H. (2016) ‘Pengembangan Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pascastroke Berbasis Virtual Reality’, *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), pp. 45–52.
- Ospennikova, O.G. *et al.* (2021) ‘Studying Chemical Composition, Structure, and Mechanical Properties EP648 Alloy Fabricated by Deformation, Lost Wax Casting, and Selective Laser Sintering’,

- Inorganic Materials: Applied Research*, 12(6), pp. 1534–1539. Available at: <https://doi.org/10.1134/S2075113321060150>.
- Pamasaria, H., Herianto, H. and Saputra, T. (2019) ‘Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM (Fused Deposition Modeling) terhadap Kualitas Hasil Produk’, in *IENACO (Industrial Engineering National Conference)*, p. 2019.
- Pratama, A.Y. and Herianto (2023) ‘Quality evaluation in development of 3D printed chocolate products’, *AIP Conference Proceedings*. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0114236>.
- Pristiansya, P. and Herianto, H. (2018) ‘Pengaruh Parameter 3D Printing Terhadap Transparansi Produk yang Dihasilkan’, *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 2(1), pp. 181–186. Available at: <https://doi.org/10.29407/inotek.v2i1.480>.
- Puangkunya, J., Srisawadi, S. and Chanthasopeephan, T. (2025) ‘Comparative analysis of 3D printed and cast conductive rubber for enhanced tactile sensing applications’, *Sensors and Actuators A: Physical*, 390. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2025.116585>.
- Ritonga, S.A. *et al.* (2023) ‘Analysis of design parameters’ effect on 3D printed soft pneumatic actuator generated curvature and tip force’, *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 7(4), pp. 752–762.
- Rohman, A.T., Rochardjo, H.S.B. and Herianto, H. (2020) ‘Analisa Ketelitian Gerak Sumbu X Ekstruder Mesin Fused Deposition Modeling dan Kualitas Hasil 3D Printing Menggunakan Bahan Polylactic Acid (PLA)’, *Journal of Mechanical Design and Testing*, 2(1), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.22146/jmtdt.53597>.
- Sai Kalyan, M.V.D., Kumar, H. and Nagdeve, L. (2021) ‘Latest trends in Additive manufacturing’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1104(1), p. 012020. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1104/1/012020>.
- Saniuk, S., Grabowska, S. and Fahlevi, M. (2023) ‘Personalization of Products and Sustainable Production and Consumption in the Context of Industry 5.0’, in C.F. Machado and J.P. Davim (eds)

- Industry 5.0: Creative and Innovative Organizations*. Cham: Springer International Publishing, pp. 55–70. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-26232-6_3.
- Saputra, T.H., Herianto, H. and Pamasaria, H.A. (2019) ‘Analisa Pengaruh Pemilihan Komponen terhadap Ketelitian Dimensi dan Kualitas Permukaan Produk pada Mesin 3D Printing Jenis FDM (Fused Deposition Modelling)’, in *IENACO (Industrial Engineering National Conference)*, p. 2019.
- Sari, M.W. *et al.* (2022) ‘INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM ON SOCIAL MANUFACTURING: A SIMULATION STUDY’, *Management Systems in Production Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0029>.
- Sari, M.W. *et al.* (2023a) ‘Developing an android and GPS-based transportation application for monitoring material delivery on social manufacturing system’, *AIP Conference Proceedings*. Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0105480>.
- Sari, M.W. *et al.* (2023b) ‘Social Manufacturing on Integrated Production System: A Systematic Literature Review’, *Management Systems in Production Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.2478/mspe-2023-0003>.
- Sari, M.W. *et al.* (2024) ‘Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review in Social Manufacturing’, *Management Systems in Production Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0002>.
- Setyawan, M.R. (2022) ‘3D Print Continuation Process Parameter Setting to Optimize the Tensile Strength’, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* [Preprint]. Available at: https://www.academia.edu/92332018/3D_Print_Continuation_Process_Parameter_Setting_to_Optimize_the_Tensile_Strength (Accessed: 30 April 2025).
- Sheikh-Ahmad, J.Y. (2009) ‘Conventional Machining of FRPs’, in J. Ahmad (ed.) *Machining of Polymer Composites*. Boston, MA: Springer US, pp. 143–235. Available at: https://doi.org/10.1007/978-0-387-68619-6_5.

- Singh, D., Singh, R. and Boparai, K.S. (2020) ‘Investigations on hardness of investment-casted implants fabricated after vapour smoothing of FDM replicas’, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(4), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40430-020-2265-y>.
- Singh, S., Ramakrishna, S. and Gupta, M.K. (2017) ‘Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review’, *Journal of Cleaner Production*, 168, pp. 1230–1243. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.108>.
- Stefanescu, D.M. (2023) ‘A Succinct History of Metalcasting Knowledge’, *International Journal of Metalcasting*, 17(4), pp. 2373–2388. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40962-023-00971-5>.
- Sugarindra, M., Tontowi, A.E., and Herianto (2024) ‘Multitask Scheduling on Cloud Additive Manufacturing Using NSGA- II’, *Journal of Industrial Engineering and Management*. Available at: <https://doi.org/10.3926/jiem.7083>.
- Tasaka, A. *et al.* (2021) ‘Influence of reinforcement bar on accuracy of removable partial denture framework fabricated by casting with a 3D-printed pattern and selective laser sintering’, *Journal of Prosthodontic Research*, 65(2), pp. 213–218. Available at: https://doi.org/10.2186/jpr.JPOR_2020_10.
- Thomas, D. (2016) ‘Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective’, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5), pp. 1857–1876. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7973-6>.
- Wang, Y. *et al.* (2024) ‘Research Progress on the Manufacturing of Screw-Shaped Parts in Screw Compressors’, *Applied Sciences*, 14(5), p. 1945. Available at: <https://doi.org/10.3390/app14051945>.
- Yanel, K., Herianto and Sriwijaya, R. (2019) ‘The effect of suction pressure of vacuum clamp on the aluminum plate surface following the cutting process using mini PC-based CNC milling’, *AIP Conference Proceedings*, 2187(1), p. 050019. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5138349>.

- Yarlagadda, R.T. (2015) 'Future of Robots, AI and Automation in the United States'. Rochester, NY: Social Science Research Network. Available at: <https://papers.ssrn.com/abstract=3803010> (Accessed: 30 April 2025).
- Zhang, X. *et al.* (2025) 'A novel copper matrix composite suitable for traditional casting by designing in-situ formed high-entropy diboride particles', *Scripta Materialia*, 261, p. 116622. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2025.116622>.
- Živanović, S. *et al.* (2020) 'An overview of rapid prototyping technologies using subtractive, additive and formative processes', *FME Transactions*, 48(2), pp. 246–253. Available at: <https://doi.org/10.5937/fmet2001246Z>.