

**PENGEMBANGAN MATERIAL KOMPOSIT SERAT ALAM
UNTUK APLIKASI INDUSTRI BERKELANJUTAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Bahan Komposit Berbasis Polimer
pada Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada Tanggal 7 Maret 2024**

**Oleh:
Prof. Ir. Kusmono, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.**

Bismillahirrahmaanirrahiim

Yang saya hormati,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat,
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik,
Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik,
Ketua dan Sekretaris Senat Fakultas Teknik,
Para Tamu Undangan, Teman Sejawat, Dosen, Tenaga Kependidikan,
Mahasiswa, Hadirin yang saya muliakan, dan keluarga yang saya
cintai

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah Swt atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga hari ini kita berada di Balai Senat Universitas Gadjah Mada dalam kondisi sehat wal afiat untuk mengikuti acara Pengukuhan Guru Besar saya. Sungguh merupakan kehormatan bagi saya mendapat kesempatan menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar saya dalam bidang Ilmu Bahan Komposit Berbasis Polimer di hadapan majelis yang sangat terhormat ini sebagai salah satu tradisi akademik di lingkungan Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih saya haturkan kepada Ibu/Bapak semua, yang telah berkenan hadir baik luring maupun daring pada pidato pengukuhan Guru Besar saya dengan judul:

Pengembangan Material Komposit Serat Alam untuk Aplikasi Industri Berkelanjutan

Ibu, Bapak, hadirin yang saya hormati,

Pendahuluan

Material teknik (*engineering materials*) merupakan bagian yang sangat penting dalam bidang ilmu teknik mesin. Hal ini karena semua peralatan atau produk hasil perancangan teknik mesin memerlukan material sebagai komponennya. Material teknik dapat diklasifikasikan

menjadi 4 kelompok yaitu logam, polimer, keramik, dan komposit. Komposit adalah gabungan dari dua atau lebih material untuk mendapatkan sifat baru yang merupakan gabungan sifat dari material penyusunnya, yang tidak dapat dipenuhi oleh material tunggal (Askeland dan Fulay, 2009; Callister dan Rethwisch, 2009). Komposit merupakan kelompok material yang berkembang pesat karena material komposit dapat dirancang untuk memenuhi sifat-sifat yang diinginkan.

Komposit memiliki banyak keunggulan dibanding material teknik lainnya karena dapat dirancang untuk memiliki kekuatan spesifik (kekuatan dibagi berat jenis) tinggi dan kekakuan spesifik (modulus elastisitas dibagi berat jenis) tinggi yang berarti komposit bersifat kuat, kaku, dan ringan. Selain itu, komposit juga memiliki ketahanan mulur (*creep*) tinggi, koefisien muai rendah, daya hantar panas rendah, tahan aus, tahan korosi, dan bahkan komposit dapat dirancang menjadi material cerdas. Sifat unggul inilah yang membuat komposit banyak diaplikasikan di berbagai industri seperti otomotif, pesawat terbang, alat olah raga, komponen mesin yang berputar, dan sebagainya. Secara keseluruhan, material komposit berperan penting dalam kemajuan teknologi dan kemajuan berbagai industri.

Komposit dengan matrik polimer dan penguat serat sintetis merupakan jenis komposit yang paling banyak dikembangkan saat ini. Berbagai jenis serat sintetis seperti serat gelas, karbon, dan aramid banyak digunakan sebagai penguat komposit. Hal ini karena serat sintetis memiliki kekuatan tarik dan kekakuan lebih tinggi serta lebih tahan panas dari pada serat alam. Namun demikian, serat sintetis memiliki kelemahan antara lain lebih mahal, lebih berat, tidak dapat terurai, tidak dapat didaur ulang, menghasilkan emisi karbon, dan menimbulkan masalah ekologi yang serius terhadap kesehatan manusia (Alsaeed dkk., 2013).

Di sisi lain, serat alam memiliki banyak keunggulan daripada serat sintetis antara lain lebih murah, lebih ringan, dapat terurai, mampu meredam getaran, tidak beracun, tangguh, dapat didaur ulang, mampu mengurangi emisi karbon, menurunkan efek pemanasan global, dan memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan spesifik tinggi yang sebanding dengan serat sintetis (Holbery dan Houston, 2006; Lotfi dkk., 2019). Kebutuhan material yang ringan dan kuat, tuntutan mengurangi

konsumsi energi, kesadaran lingkungan akan keselamatan, keberlanjutan, dan menjaga keseimbangan ekologi menjadi faktor pendorong utama para peneliti di dunia untuk mengembangkan komposit serat alam untuk aplikasi industri berkelanjutan. Pengembangan komposit serat alam juga mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals (SDGs) no 12 yakni (Responsible consumption and production) dan no 13 (Climate action)*) (Tóthová, dan Heglasová, 2022). Pengembangan komposit serat alam juga selaras dengan “*European Green Agreement*” tahun 2019 di mana emisi karbon dioksida harus dikurangi sebesar 50-55% pada tahun 2030 dibandingkan tahun 1990 untuk mencapai netralitas karbon tahun 2050 (Li dkk., 2022).

Hadirin yang saya muliakan,

Klasifikasi material komposit

Komponen penyusun komposit dapat dikelompokkan menjadi 2 yakni matriks dan material penguat. Matriks berfungsi untuk mengikat serat maupun partikel penguat sehingga menghasilkan bentuk. Selain itu, matriks juga berfungsi mendistribusikan beban dari satu komponen penguat ke komponen penguat lain melalui gaya geser. Matriks juga harus mampu membasahi seluruh permukaan komponen penguat (serat/partikel) sehingga terjadi ikatan antar muka yang kuat antara matriks dan penguat. Semua jenis material teknik (logam, polimer, keramik) dapat digunakan matriks komposit.

Material penguat komposit dapat berupa serat maupun partikel. Fungsi dari material penguat tentunya memberikan efek penguatan pada komposit. Material penguat dapat berupa serat yang bisa berbentuk serat searah, anyaman, dan CSM (*chopped strand mat*). Serat diklasifikasi menjadi dua yaitu serat sintetis dan serat alam. Serat sintetis adalah serat yang dibuat melalui sintesis kimia seperti serat karbon, gelas, dan aramid/Kevlar. Serat alam merupakan serat yang diperoleh dari sumber selulosa alami seperti serat daun nanas, rami, kenaf, tebu, serabut kelapa, dan sebagainya. Material penguat juga dapat berbentuk partikel seperti silika, alumina, clay, *carbon nanotubes*, nanographene, nanoselulosa, dan sebagainya.

Berdasarkan jenis matriks, komposit diklasifikasikan menjadi 3 jenis yakni komposit dengan matriks polimer (*Polymer-Matrix Composites*), komposit dengan matriks logam (*Metal-Matrix Composites*), dan komposit dengan matriks keramik (*Ceramic-Matrix Composites*). Contoh komposit bermatriks polimer adalah komposit GFRP (*glass fiber-reinforced polymer*), CRFP (*carbon fiber-reinforced polymer*), dan KFRP (*Kevlar fiber-reinforced polymer*). Komposit juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis material penguat yakni komposit yang diperkuat serat (*fiber-reinforced composites*), komposit yang diperkuat partikel (*particle-reinforced composites*), dan komposit struktural (Callister dan Rethwisch, 2009).

Komposit yang diperkuat serat dikelompokkan menjadi komposit serat kontinu (serat panjang) dan komposit serat diskontinu (serat pendek). Komposit serat pendek dibagi menjadi 2 yakni komposit serat pendek acak dan komposit serat pendek teratur. Komposit struktural merupakan komposit yang terdiri dari kombinasi material komposit itu sendiri dengan material yang homogen. Komposit struktural diklasifikasikan menjadi dua yakni komposit laminar dan komposit *sandwich*. Komposit laminar merupakan komposit struktural yang terdiri dari lembaran atau panel dua dimensi (lapisan atau lamina) yang diikat satu sama lain menggunakan bahan adesif. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang terdiri dari dua lembar luar atau permukaan, yang dipisahkan dan diikat dengan menggunakan bahan adesif pada material inti yang lebih tebal. Material inti terbuat dari material yang ringan dan kekuatan rendah. Komposit *sandwich* memiliki keunggulan antara lain sangat ringan dan memiliki kekuatan *bending* serta kekakuan *bending* tinggi. Contoh komposit *sandwich* adalah *honeycomb composite panel* yang banyak diaplikasikan dalam industri.

Hadirin yang saya hormati,

Keunggulan komposit serat alam

Komposit serat alam memiliki banyak kelebihan daripada komposit serat sintetis. Kelebihan tersebut antara lain lebih murah, lebih ringan, memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan spesifik yang

sebanding dengan komposit serat sintetis, dapat teruarai oleh mikroorganisme, tidak beracun, proses manufakturnya membutuhkan energi lebih sedikit, mampu meredam getaran, dan menyerap gas karbondioksida (Ismail dkk., 2022).

Sifat mekanis komposit serat alam sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor tersebut antara lain jenis dan jumlah matriks maupun serat alam, bentuk dan ukuran serat, distribusi dan arah serat terhadap beban yang diberikan, adesi antar muka serat dengan matriks, perlakuan kimia serat, dan pelapisan serat (Callister dan Rethwisch, 2009; Chaudhary dan Ahmad, 2020; Ismail dkk., 2022). Jumlah matriks dan serat alam dinyatakan dalam fraksi volume. Semakin tinggi fraksi volume serat alam maka sifat mekanis komposit akan semakin tinggi. Semakin kecil ukuran serat maka akan memberikan perekatan dan kekuatan yang semakin baik. Hal ini disebabkan karena rasio antara luas permukaan dan volume serat semakin besar (Riedel, 1999).

Komposit serat alam dengan arah serat sejajar dengan arah pembebanan memiliki sifat mekanis tertinggi (Pickering dkk., 2016). Sifat mekanis komposit serat alam juga dipengaruhi oleh adesi antar muka antara serat dengan matriks. Jika adesi antar muka serat dengan matriks baik maka komposit memiliki sifat mekanis tinggi dan sebaliknya. Perlakuan kimia serat alam telah terbukti menjadi metode efektif untuk meningkatkan sifat mekanis komposit serat alam karena dapat meningkatkan ikatan antar muka dengan matriks polimer (Chaudhary dan Ahmad, 2020). Sifat mekanis komposit serat alam juga dapat dipengaruhi oleh pelapisan serat alam. Pelapisan serat rami dengan bahan kimia seperti 3- (aminopropyl) triethoxysilane terbukti mampu meningkatkan sifat mekanis komposit epoksi/serat rami (Ngo dkk., 2015).

Hadirin yang saya hormati,

Klasifikasi dan karakteristik serat alam

Berdasarkan asalnya, serat alam dapat dikelompokkan menjadi tiga yakni serat yang diperoleh dari tanaman (*plant fibers*), hewan (*animal fibers*), dan *mineral fibers* (John dan Thomas, 2008). Serat tanaman mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pectin.

Berbagai contoh serat tanaman antara lain serat daun nanas, sisal, abaca, rami, ijuk, kenaf, rumput gajah, kapas, serabut kelapa, dan sebagainya. Serat hewan mengandung protein dan contohnya adalah serat wool, serat sutera, serat rambut, dan serat bulu ayam. Serat mineral merupakan serat alami atau serat yang sedikit dimodifikasi yang diproses dari mineral. Serat asbes adalah contoh serat mineral yang terjadi secara alami di lingkungan sebagai kumpulan serat. Serat ini bersifat tahan panas, api dan penghantar listrik yang buruk. Mineral asbes merupakan senyawa silikat, mengandung silikon dan oksigen dalam struktur molekulnya.

Serat alam diekstrak dari sumber serat alam seperti tanaman. Berbagai metode ekstraksi telah dikenal antara lain metode *decortication*, *retting*, *blow molding*, dan metode enzimatik (Elfaleh dkk., 2023). Metode *decortication* merupakan metode yang paling umum untuk mengekstraksi serat alam dari batang tanaman seperti serat rami dan ijuk. Prosesnya meliputi pembuangan bagian luar batang dan memanfaatkan serat bagian dalam dari batang tanaman dengan cara mekanis maupun kimia. Metode *retting* merupakan metode perlakuan mikrobiologis yang melepaskan serat dari batangnya. Proses ini melibatkan pemaparan batang terhadap mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, yang mendegradasi bahan pektik yang menyatukan serat-seratnya. Metode *blow molding* digunakan untuk mengekstraksi serat bambu yang melibatkan penggunaan mesin ekstrusi untuk memanaskan dan melunakkan serat bambu, yang kemudian dihembuskan melalui ruang pendingin hingga terbentuk serat kontinyu. Metode enzimatik menggunakan enzim spesifik untuk memecah komponen tanaman bukan serat. Metode ini efektif untuk serat seperti sisal dan kenaf.

Sifat mekanis serat alam sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain kandungan selulosa, sudut mikro fibrilar, komposisi kimia serat, struktur serat, dan ukuran sel serat (Elfaleh dkk., 2023). Secara umum, kekuatan dan kekakuan serat alam meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan selulosa di dalam serat (Bongarde dan Shinde, 2014). Kekuatan tarik dari serat alam seperti serat kenaf, ijuk, rami, sisal, dan serabut kelapa berkisar 393-1500 MPa dan lebih rendah daripada kekuatan tarik serat gelas tipe E yang berkisar 2000 – 3500 MPa. Tetapi, densitas serat alam jauh lebih rendah ($1,2-1,6 \text{ g/cm}^3$)

dibanding serat gelas tipe E ($2,5 \text{ g/cm}^3$). Oleh karena itu, nilai kekuatan spesifik dan kekakuan spesifik dari serat alam sebanding dengan serat sintetis. Material yang memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan spesifik tinggi sangat diperlukan untuk material struktur ringan seperti mobil dan pesawat terbang.

Ibu, bapak, hadirin yang saya muliakan,

Perlakuan permukaan serat alam

Selain memiliki kelebihan, serat alam juga memiliki beberapa kelemahan antara lain ikatan adesi antara muka dengan matriks polimer non polar yang lemah, mudah menyerap air akibat serat alam bersifat hidropilik di mana serat alam banyak mengandung gugus hidroksil, dan tidak tahan suhu tinggi. Untuk mengatasi masalah ini, empat metode modifikasi serat alam telah dikenal yakni metode fisik, kimia, biologi, dan teknologi nano. Di antara keempat metode tersebut, metode kimia merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk memodifikasi permukaan serat alam karena prosesnya sederhana dan meningkatkan sifat mekanis dan sifat termal serat alam secara signifikan.

Berbagai metode modifikasi kimia serat alam telah banyak dikembangkan dan digunakan antara lain perlakuan alkali, perlakuan silan, perlakuan asetilasi, perlakuan benzoilasi, dan perlakuan peroksida. Semua modifikasi kimia ini dapat meningkatkan ikatan antar muka serat alam dengan matriks polimer dan juga mengurangi sifat hidrofilitas dari serat alam.

Madhu dkk. (2020) melaporkan bahwa perlakuan modifikasi permukaan alkali, asam stearat, peroksida benzoil, dan perlakuan potasium permanganate mampu menaikkan kekuatan tarik dan keuletan secara signifikan dari serat *Agave Americana*. Perlakuan alkali merupakan salah satu metode perlakuan kimiawi yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena proses perlakuan alkali relatif paling sederhana, paling murah, dan paling efisien untuk meningkatkan sifat hidrofobitas dan adhesifitas serat dengan matriks polimer. Perlakuan alkali dilakukan dengan merendam serat alam di dalam larutan alkali selama waktu tertentu. Perlakuan alkali ini menghasilkan fibrilasi serat dan terurainya kumpulan serat menjadi serat berukuran

lebih kecil serta melarutkan komponen amorf seperti hemiselulosa, pectin, lapisan lilin, dan lignin. Perlakuan alkali menghasilkan permukaan yang kasar dari serat sehingga meningkatkan ikatan antar muka dan meningkatkan sifat mekanis. Selanjutnya, perlakuan alkali dan gabungan alkali-silan dapat meningkatkan kekuatan tarik serat daun agel dan kekuatan geser antar muka dari komposit poliester/serat daun agel (Hestiawan dkk., 2018; Kusmono dkk., 2020).

Hadirin yang saya hormati,

Pengembangan material nanoselulosa dari serat alam

Serat alam dalam skala mikrometer selain sebagai material penguat, juga dapat disintesis menjadi serat selulosa berukuran nanometer (nanoselulosa) yang sangat potensial sebagai penguat dari nanokomposit. Nanoselulosa adalah material selulosa yang salah satu dimensinya berukuran 1-100 nm yang diekstrak dari sumber selulosa alami (Dhali dkk., 2021). Nanoselulosa dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu *cellulose nanocrystals* (CNC), *cellulose nanofibrils* (CNF), dan *bacterial nanocellulose* (BNC). CNC berbentuk seperti jarum atau batangan sedangkan CNF berbentuk struktur jaringan selulosa yang mengandung bagian *amorf* dan kristalin. BNC merupakan nanoselulosa yang diperoleh dari fermentasi glukosa dengan menggunakan bakteri. Nanoselulosa dapat diekstraks dan diproduksi dari berbagai sumber selulosa antara lain alga, bakteri, jamur, rumput, tanaman, dan hewan (Thakur, 2014). Berbagai metode untuk membuat nanoselulosa antara metode mekanis, kimiawi, maupun kombinasi mekanis dan kimiawi.

Penelitian tentang pembuatan dan karakterisasi nanoselulosa dari berbagai sumber selulosa alami telah dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM. Kusmono dkk. (2020) telah berhasil membuat CNC yang diekstrak dari serat rami menggunakan metode hidrolisis asam sulfat. Partikel CNC seperti jarum dengan diameter 6,67 nm, panjang 145,61 nm dan memiliki indeks kristalinitas 90,77% serta memiliki kestabilan termal yang baik telah dihasilkan. Pembuatan CNC dari serat rami dengan

menggunakan hidrolisis asam fosfat juga telah berhasil dilakukan dengan diameter 21,4 nm, panjang 215,4 nm, dan indeks kristalinitas 89,28% (Kusmono dan Affan, 2022). CNC yang diekstraksi dari serat lidah mertua (*Sansevieria trifasciata fibers*) menggunakan metode oksidasi amonium persulfat juga telah berhasil dibuat di mana dihasilkan CNC dengan diameter berkisar 5-13 nm, panjang 96-211 nm, dan aspect ratio 16-19 (Indirasetyo dan Kusmono, 2022). Sukmawan dkk. (2023a dan 2023b) juga telah berhasil membuat CNF yang diasetilasi (acetylated CNF=ACNF) dari serat sisal dengan menggunakan *high-speed blender* yang menghasilkan ACNF dengan diameter rata-rata 5,59 nm dan indeks kristalinitas 90%. Pratiwi dkk. (2023) telah berhasil membuat CNC dari limbah kulit durian menggunakan metode oksidasi amonium persulfat dengan diameter 5,00-7,81 nm, panjang 114 -127 nm, dan *aspect ratio* berkisar 17-24. CNC ini berpotensi sebagai penguat nanokomposit untuk material struktur. Aryasena dkk. (2022) juga berhasil membuat CNC dari serat batang rumput gajah Gama Umami yang dikembangkan oleh Prof. Nafiatul Umami dari Fakultas Peternakan UGM. Selanjutnya CNC ini dapat digunakan sebagai bahan aditif dari oli pelumas yang mampu mempertahankan nilai indeks viskositas dan viskositas kinematik.

Salah satu potensial aplikasi nanoselulosa adalah sebagai material penguat nanokomposit karena sifat unggulnya antara lain sangat ringan ($1,6 \text{ g/cm}^3$), kemurnian tinggi, *high aspect ratio* (10-100), luas permukaan besar, kekuatan tarik tinggi (7,5-7,7 GPa) jauh lebih tinggi dari baja, modulus elastisitas tinggi (110-220 GPa), toksisitas rendah, *biodegradable*, dan biokompatibilitasnya baik (Hao dkk., 2020). Beberapa penelitian terkait penggunaan nanoselulosa sebagai penguat komposit telah dilakukan di lab Bahan Teknik DTMI UGM. Azhary dkk. (2022) melaporkan bahwa penambahan CNF 1 wt% pada komposit epoksi/serat gelas mampu meningkatkan kekuatan tarik sebesar 9%, kekuatan *bending* 16%, dan kekuatan geser antar lapisan sebesar 11%. CNC juga dapat digunakan sebagai penguat pada pembuatan filamen komposit untuk 3D printing dengan matriks PLA seperti dilaporkan oleh Ahmad dkk. (2023) di mana penambahan 1 wt% CNC pada matriks PLA dapat meningkatkan kekuatan tarik 18,2%. Salah satu potensi aplikasi dari filamen komposit PLA/CNC adalah untuk

pembuatan mahkota gigi tiruan. Peningkatan kekuatan tarik, kekuatan bending, dan ketangguhan impact yang signifikan akibat penambahan 0,75 wt% CNF pada matriks epoksi juga dilaporkan oleh Saba dkk. (2017). Penambahan 4 wt% CNC pada film biokomposit kitosan/gliseryl mampu meningkatkan kekuatan tarik yang sangat signifikan sebesar 206%, modulus elastisitas 136%, dan keuletan 277% dilaporkan oleh Kusmono dkk. (2021).

Kementerian Lingkungan Hidup Jepang bersama 22 institusi riset, perusahaan Jepang, dan beberapa universitas seperti *Kyoto University* telah berhasil mengembangkan kendaraan listrik berbahan komposit plastik diperkuat nano selulosa (*Nanocelullose Vehicle, NCV*). Proyek NCV ini merupakan proyek konsorsium yang diketuai oleh Prof. Hiroyuka Yano (*Kyoto Univ.*) sejak tahun 2016 sampai 2019. Kendaraan ini mampu mengurangi bobot mobil sebesar 10% untuk mengurangi emisi gas CO₂ dengan tetap mempertahankan kekuatan. NCV merupakan kendaraan material nol CO₂ terbaik dengan sejumlah bodi dan bagian interior yang terbuat dari komposit serat nanoselulosa yang dicampur dengan matriks termoplastik. Material CNF ini menjadi material generasi masa depan yang beratnya seperlima dari baja dan delapan kali lebih kuat dari baja (Sapuan dan Ilyas, 2020).

Ibu, Bapak, Hadirin yang saya muliakan,

Material matriks komposit

Polimer merupakan material teknik yang paling banyak digunakan sebagai matriks komposit. Berdasarkan asalnya, polimer dapat dikelompokkan menjadi 2 yakni polimer alami dan polimer sintesis. Polimer alami (*biodegradable polymer*) adalah polimer yang berasal dari tanaman maupun hewan yang telah mati. *Biodegradable polymer* dikelompokkan menjadi 2 yakni *bioplastics* dan *petroplastics*. *Bioplastics* dikelompokkan menjadi 2 yakni polimer yang diekstraksi dari biomass dan poliester yang diekstrak dari biomas. *Bioplastics* yang diekstrak dari biomass antara lain selulosa, citin, dan kolagen sedangkan poliester yang diekstrak dari biomas antara lain PLA, PLLA. *Biodegradable polymer* juga dapat berasal dari sumber fosil seperti PCL (polycaprolactone) dan PEA (polyesteramide). Polimer sintesis

merupakan polimer yang dibuat oleh manusia melalui reaksi kimia yang disebut polimerisasi seperti polietilen, polipropilen, polisterin, PVC, poliester, polikarbonat, dan sebagainya.

Berdasarkan kekuatan molekul, polimer dapat dikelompokkan menjadi 3 yakni termoplastik, termoset, dan elastomer. Termoplastik adalah kelompok polimer yang dapat dipanaskan sampai mencair dan didinginkan akan mengeras serta dapat dicairkan kembali. Contoh termoplastik adalah PP, PE, PVC, PA, PS, dan sebagainya. Termoplastik memiliki sifat dapat diaur ulang, ulet, mudah dibentuk, dan tangguh tetapi tidak tahan suhu tinggi. Termoset merupakan kelompok polimer yang apabila dicampur dengan agen pengeras atau katalis akan mengeras secara permanen. Dibanding dengan termoplastik, termoset memiliki kekuatan dan kekakuan lebih tinggi, lebih tahan panas, dan tidak dapat didaur ulang. Berbagai contoh termoset antara lain resin poliester, epoksi, poliuretan, fenol, melamin, dan sebagainya. Polimer jenis termoset paling banyak digunakan sebagai matriks komposit karena proses pembuatannya relatif mudah, sederhana, dan murah tanpa menggunakan mesin pemroses polimer. Elastomer adalah kelompok polimer yang sifatnya sangat elastis dan memiliki persentase elongasi lebih dari 200%. Contoh elastomer adalah material karet.

Hadirin yang saya hormati,

Teknik fabrikasi komposit serat alam

Pemilihan jenis teknik fabrikasi komposit yang tepat merupakan salah satu faktor penting untuk menghasilkan komposit dengan sifat mekanis tinggi. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam pemilihan jenis teknik fabrikasi yang tepat antara lain bentuk, ukuran, sifat komposit yang diinginkan, biaya produksi, kecepatan produksi, dan sifat bahan baku (Lotfi dkk., 2021). Beberapa teknik manufaktur komposit yang telah dilakukan adalah *hand lay-up*, *compression moulding*, *extrusion*, *injection molding*, *resin transfer moulding*, *vacuum bagging*, dan *vacuum infusion* (Ismail dkk., 2022).

Hand lay-up merupakan teknik fabrikasi komposit yang paling kuno. Serat dalam bentuk lembaran diletakkan di atas cetakan, matriks

resin sebagai perekat dituangkan di atas serat, dan selanjutnya dirol agar matriks resin dapat membasahi seluruh permukaan serat serta menghilangkan udara yang terjebak. Keunggulan teknik ini adalah prosesnya mudah dan murah tetapi produksi lama serta sulit diterapkan secara otomatis.

Compression molding atau cetak tekan merupakan pengembangan dari teknik *hand lay-up*. Pada *compression molding*, cetakan dipanaskan terlebih dahulu, campuran antara matriks resin dengan lembaran serat dimasukkan ke dalam cetakan, cetakan ditutup dengan gaya tekan sementara suhu dan tekanan ditahan sampai komposit mengeras.

Extrusion digunakan untuk membuat komposit dengan cara mendorong material ke dalam luas penampang yang seragam melalui cetakan tertentu. Material ini terdiri dari campuran matriks termoplastik berbentuk pelet dan serat yang selanjutnya dipanaskan dan ditekan membentuk bentuk tertentu menggunakan mesin ekstruder tunggal maupun ganda.

Pada *injection molding*, matriks termoplastik berbentuk pelet dicampur dengan material penguat baik berbentuk serat maupun partikel, dimasukkan melalui *feed hooper* dan dipanaskan di dalam *barrel* sehingga mencair dan selanjutnya ditekan melalui *nozzle* mengisi rongga cetakan serta dibiarkan dingin untuk menghasilkan produk komposit. Produk komposit dengan presisi tinggi, bentuk yang kompleks, sifat mekanis tinggi, laju produksi tinggi dapat dibuat menggunakan *injection molding*.

Pada *resin transfer molding* (RTM), serat diletakkan di dalam cetakan dan ditutup dengan cetakan lain. Selanjutnya matriks resin diinjeksikan dan diimpregnasi dengan tekanan tertentu serta ditahan sampai terbentuk komposit yang keras.

Vacuum bagging adalah teknik pembuatan komposit dengan cara pengepresan menggunakan kantong kedap udara untuk menekan suatu laminasi dari gel coat, serat dan lapisan lainnya pada cetakan sampai lapisannya menyatu sebagai komposit. *Vacuum infusion* merupakan teknik fabrikasi komposit dengan memanfaatkan kevakuman udara dalam cetakan. *Vacuum infusion* terdiri dari selang masuk resin, selang keluar resin, tabung reservoir, *bagging film*, pompa

vakum dan cetakan. Matrik resin masuk dalam cetakan akibat adanya perbedaan tekanan udara luar dan dalam cetakan.

Additive manufacturing (AM), juga dikenal 3D printing, merupakan teknik manufaktur komposit terbaru untuk membuat berbagai produk 3 dimensi. Bahan ditambahkan secara lapis demi lapis untuk membuat produk tiga dimensi dari model CAD (*computer aided design*). Teknik ini lebih unggul daripada *injection molding* karena dapat membuat produk kompleks dan kecil, murah, cepat, untuk berbagai polimer termoplastik, dan tidak membutuhkan cetakan. Berbagai produk 3 dimensi seperti robot, prostesis, ortotik, komponen otomotif, dan sebagainya dapat dibuat menggunakan AM. FDM atau *fused deposition modelling* merupakan salah satu metode 3D printing yang paling banyak digunakan karena murah, sederhana, dan dapat membuat produk kompleks. Proses pembuatan produk dengan metode FDM membutuhkan material filamen yang biasanya terbuat dari termoplastik murni seperti PLA, ABS, PMMA, nilon, dan polipropilen termasuk juga filamen komposit.

Hadirin yang saya muliakan,

Aplikasi material komposit serat alam di bidang otomotif

Menurut Dua dkk. (2022), komposit serat alam memiliki keunggulan untuk aplikasi industri otomotif karena sangat ringan, sifat mekanisnya memadai, manufaktur berkelanjutan (penggunaan kembali material), murah, tidak beracun, lebih aman ketika terjadi kecelakaan, dimungkinkan teknologi baru, dan lebih sehat (*health benefit*).

Saat ini, perusahaan-perusahaan otomotif besar dunia seperti BMW, Mercedes, Audi, Ford, dan General Motor sedang menginvestasikan lebih banyak modalnya untuk penelitian dan pengembangan serta penerapan komposit serat alam untuk komponen mobil mereka (Dahlke dkk., 1998; Monteiro dkk., 2009; Naik dkk., 2022). Ford adalah produsen mobil pertama yang menggunakan serat rami dan serat jerami untuk membuat panel komposit dengan matriks *soybean*. Pada tahun 1994 Mercedes Benz mengembangkan komposit serat goni untuk aplikasi panel pintu pada model mobil E-Class. Dilaporkan bahwa penggunaan komposit serat sisal/serat rami untuk

aplikasi interior mobil mampu mengurangi bobot kendaraan sebesar 20% (Naik dkk., 2022). Ford Montero (1996) melaporkan pembuatan interior mobil dari bahan komposit serat kenaf. Tahun 2000, Audi meluncurkan mobil kelas menengah A2 yang panel trim pintunya terbuat dari komposit poliuretan yang diperkuat serat rami/ serat sisal.

Tahun 2018, Mercedes-Benz telah mengaplikasikan komposit serat alam untuk aplikasi otomotif antara lain komposit serat goni untuk panel pintu, serat rami untuk *gearbox covers*, serat abaka, rami, sisal, dan wool untuk panel bagian bawah bodi mobil (Daimler, 2018). Tahun 2019, Produsen mobil *sport* Porsche mengklaim bahwa 718 Cayman GT4 Club adalah mobil *sport* pertama di dunia yang memiliki bagian eksterior yang terbuat dari komposit serat rami. Aplikasi komposit serat alam pada otomotif lainnya adalah seperti komposit rami/vinil ester untuk kap mesin, komposit kenaf/epoksi untuk pelapis spall, nilon yang diperkuat tepung maple dan pinus dengan stabilitas termal untuk bagian bawah kap mesin. Komposit serat alam digunakan pada kendaraan BMW E-class dan seri 7 pada komponen interior termasuk *dashboard*. Komposit serat alam memiliki potensi yang luar biasa bagi industri otomotif seiring dengan semakin tingginya pasar material ringan dan ramah lingkungan. Li dkk., (2020) melaporkan bahwa komposit serat alam dapat menghasilkan pengurangan biaya sebesar 20 persen dan pengurangan berat komponen kendaraan sebesar 30 persen. Penelitian juga telah membuktikan bahwa komponen ringan pada mobil menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, potensi daur ulang yang lebih besar, dan kebisingan yang lebih sedikit.

Hadirin yang saya mulyakan,

Penelitian komposit serat alam di Lab Bahan Teknik DTMI FT UGM

Penelitian komposit dengan penguat berbagai jenis serat alam dan bermatriks polimer telah banyak dilakukan di Lab Bahan Teknik. Pemanfaatan limbah serat buah sawit sebagai penguat komposit dengan matriks poliester untuk pembuatan prototipe meja kereta api eksekutif (K-1) telah dilakukan oleh Jamasri dkk (2005-2006). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 36-42% fraksi volum serat buah

sawit pada matriks poliester telah meningkatkan kekuatan dan kekakuan secara signifikan. Selain itu, komposit poliester/serat buah sawit juga memiliki karakter daya serap panas dan laju perpindahan panas yang tinggi. Rochardjo dan Ridlo (2018) berhasil membuat komposit matriks resin fenol yang diperkuat serat rami dengan sifat ketahanan aus yang baik sehingga berpotensi untuk aplikasi bahan kanvas rem kendaraan.

Untuk meningkatkan ikatan antar muka antara serat daun agel (*Corypha gebanga*) dengan matriks poliester juga telah dilakukan penelitian oleh Hestiawan dkk., 2018. Dilaporkan bahwa perlakuan alkali dapat meningkatkan kekuatan tarik sebesar 20% dan kekuatan geser antar muka sebesar 37% sehingga berpotensi besar sebagai penguat komposit serat alam. Kusmono dkk. (2020) mengkaji perilaku penyerapan air, sifat mekanis, dan sifat termal dari komposit poliester yang diperkuat serat daun agel yang diberi perlakuan alkali dan silan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat daun agel yang diberi perlakuan alkali memiliki sifat mekanis, ketahanan termal, dan ketahanan air yang lebih baik daripada komposit serat tanpa perlakuan alkali. Ilman dkk. (2018) melaporkan bahwa susunan lapisan jenis serat alam dan perlakuan silan mempengaruhi sifat mekanis komposit poliester yang diperkuat serat daun agel, serat ijuk, dan serat gelas. Sukmawan dkk. (2023a and 2023b) melaporkan bahwa perlakuan alkali yang berulang-ulang pada serat tandan kelapa sawit mampu meningkatkan sifat mekanis komposit epoksi/serat tandan kelapa sawit.

Penelitian komposit hibrid serat alam dengan partikel nano dengan matriks epoksi juga sedang dikerjakan oleh tim kami. Penelitian komposit hibrid serat alam/partikel nano sebagai strategi untuk meningkatkan sifat mekanis komposit serat alam. Serat alam yang digunakan adalah serat rami dan serat daun nanas yang selanjutnya dicampur dengan partikel nano seperti CNF dan MWCNT (*multi-wall carbon nanotubes*). Komposit hibrid serat alam/partikel nano dengan performa bagus diharapkan dapat dihasilkan sehingga berpotensi untuk aplikasi material struktur. Selain itu, penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik seperti PET, PE, dan PVC yang dicampur dengan limbah pertanian sekam padi untuk dibuat produk bernilai tambah berbasis *wood-plastic composites* saat ini juga sedang dilakukan oleh tim kami

di Laboratorium Bahan Teknik. Penelitian ini merupakan penelitian kolaborasi internasional dengan Universitas Sains Malaysia, *Kyushu University*, *Chiba Institute of Technology*, *Indian Institute of Technology Roorkee*, dan Kelompok Riset Teknologi Polimer BRIN dalam skema “*Research and Education Grant for University Consortium (RED-UC)*” yang dibiayai oleh AUN/SEED-Net JICA Jepang tahun 2023-2025.

Hadirin yang saya hormati,

Peluang dan tantangan komposit serat alam

Peluang yang besar bagi Indonesia sebagai negara tropis, yang kaya akan tanaman penghasil serat alam. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam berupa hutan yang tersebar di seluruh Nusantara. Selama ini, hasil hutan non kayu belum sepenuhnya mendapatkan perhatian dari pemerintah. Padahal tanaman non kayu memberikan kontribusi ekonomi dan penyerapan tenaga kerja yang signifikan karena dapat diperoleh serat alam dari tanaman non kayu tersebut (Wardhana dan Haryanti, 2016). Sampai saat ini, serat alam hanya banyak digunakan sebagai bahan tekstil, kertas, seni, dan kerajinan. Seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi, potensi serat alam sebagai pengganti serat sintetis untuk bahan penguat komposit sangat terbuka lebar. Ketersediaan yang melimpah dari serat alam di Indonesia memberikan peluang yang besar untuk pengembangan komposit serat alam sebagai material struktur untuk diaplikasikan di industri otomotif, penerbangan, perkapalan, dan material bangunan.

Tetapi, serat alam sebagai penguat komposit memiliki banyak tantangan yang membatasi aplikasinya. Tantangan tersebut antara lain ketersediaan dan kualitas serat alam sangat bervariasi dari satu daerah ke daerah lain serta sifatnya yang heterogen yang mempengaruhi sifat mekanis serat alam. Selain itu, perbedaan kompatibilitas antara serat alam yang bersifat hidrofilik dengan matriks polimer yang bersifat hidropobik sehingga menyebabkan ikatan antar muka yang lemah. Serat alam juga mudah menyerap air dan memiliki kestabilan dimensi rendah. Selain itu, serat alam juga mudah mengalami degradasi akibat

perubahan cuaca, bahan kimia, jamur, dan mikroorganisme. Ketahanan terhadap api rendah dan suhu proses produksi menjadi komposit yang rendah (<200°C) karena di atas suhu tersebut serat alam akan mengalami degradasi (Elfaleh dkk., 2023). Sebagian besar komposit serat alam yang telah dikembangkan menggunakan matriks polimer sintetis yang tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, ke depan tantangannya adalah pengembangan *biodegradable polymer* sebagai matriks komposit serat alam yang ramah lingkungan.

Untuk mengatasi berbagai tantangan seperti di atas, berbagai metode telah dan sedang dikembangkan. Pertama adalah dengan melakukan perlakuan permukaan pada serat alam seperti perlakuan alkali, benzoyl peroxide, asetilasi, enzim, dan sebagainya. Perlakuan permukaan ini mampu meningkatkan ikatan antar muka antara serat alam dan matriks. Kedua adalah dengan menambahkan *coupling agent* seperti silan dan senyawa kimia yang mengandung *maleic anhydride* untuk meningkatkan ikatan antar muka antara serat alam dengan matriks polimer non polar. Ketiga adalah dengan metode hibridisasi yakni menggabungkan serat alam dengan serat sintetis seperti serat gelas atau serat karbon yang dapat mengurangi penyerapan air dan meningkatkan sifat mekanis komposit. Hibridisasi juga dapat dilakukan dengan menggabungkan serat alam dengan partikel nano seperti nano silica, nano clay, dan nanoselulosa ke dalam matriks polimer yang dikenal sebagai komposit hibrid yang merupakan komposit yang tersusun dari 2 atau lebih material penguat di dalam matriks. Keempat adalah dengan penambahan bahan aditif seperti bahan anti oksida, anti hidrolisis, anti UV, dan *flame retardant*. Metode kelima adalah mengembangkan *biodegradable polymer* dari biomass. Pengembangan poliester dari biomass adalah salah satu contoh *biodegradable polymer* yang dapat digunakan sebagai matriks komposit serat alam yang ramah lingkungan. *Biodegradable polymer* ini dapat diproduksi oleh mikroorganisme yang secara alami memakan jenis monomer tertentu. Melalui kelima metode di atas maka permasalahan komposit serat alam dapat diatasi dan komposit serat alam diharapkan dapat menggantikan komposit serat sintetis untuk aplikasi material struktur yang berkelanjutan.

Hadirin yang berbahagia,

Ucapan Terima Kasih

Sebagai penutup pidato saya, ijinkan saya mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah Swt, karena atas ijin, rahmat, dan karunia-Nya lah saya dapat menyampaikan pidato Pengukuhan Guru Besar pada hari yang berbahagia ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang memberikan kepercayaan dan amanah kepada saya sebagai Guru Besar dalam Bidang Ilmu Bahan Komposit Berbasis Polimer di Fakultas Teknik UGM. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Rektor, Senat akademik, Dewan Guru Besar, Ketua dan Sekretaris Senat Fakultas Teknik, Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik, Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM yang telah memberikan kesempatan, dukungan, bantuan, dan persetujuannya untuk memperoleh jabatan fungsional sebagai Guru Besar.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada dosen pembimbing skripsi saya di Prodi Sarjana Teknik Mesin (Prof. Heru Santoso Budi Rochardjo), dan pembimbing tesis saya di Teknik Material ITB (alm. Prof. Rochim Suratman dan Prof. Husaini Ardy). Terima kasih yang sebesar-besarnya juga saya sampaikan kepada pembimbing program doctoral di *School of Materials and Mineral Resources Engineering* Universiti Sains Malaysia (Prof. Zainal Arifin Mohd Ishak dan Prof. Chow Wen Syhang), Prof. Tsutomu Takeichi dari *Toyohashi University of Technology* Jepang, dan Prof. Rochmadi dari Departemen Teknik Kimia UGM. Terima kasih telah mengajarkan tentang ilmu, integritas, etika akademik, dan tanggung jawab.

Saya juga menghaturkan terima kasih dan apreasiasi setinggi-tingginya kepada para dosen dan guru saya di Teknik Mesin, alm. Bpk. Ir. Tjahyono Adi, MSME, alm. Bpk. Ir. Samsudin, alm. Bpk. Ir. Subagio, M.Sc., alm. Bpk. Ir. Sunardjo, MT, alm. Bpk. Dr. Ir. Subarmono, MT, alm. Ibu Ir. Endang Rukmini, alm. Bpk. Prof. Ir. Sutrisno, MSME, Ph.D., Bpk. Ir. Sugijarto PS, Bpk. Ir. Greg. Harjanto, Bpk. Ir. Arief Darmawan, Bpk. Ir. I Made Suardjaja, M.Sc., Ph.D., Bpk. Ir. Purnomo,

MSME, Ph.D., Bpk. Ir. R. Soekrisno, MSME, Ph.D., Bpk. Dr. Ir. Prajitno, MT., Bpk. Prof. Ir. Samsul Kamal, M.Sc., Ph.D., Bpk. Ir. Hermawan, M.Si., Bpk. Ir. Janu Pardadi, MT., Bpk. Dr. Ir. Mudjijana, M.Eng., Bpk. Dr. Ir. Suhanan, DEA, Bpk. Dr. Ir. Viktor Malau, DEA, Bpk. Dr. Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT., Prof. Dr. Ing. Ir. Harwin Saptoadi, MSE, Prof. Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph. D, dan Bpk. Dr.Eng. Ir. Khasani, ST, M.Eng. Terima kasih atas semua ilmu dan nilai hidup yang telah dibagikan kepada saya selama menjalani pendidikan dan berkarier di Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM. Saya mengucapkan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada Bpk. Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D., IPU, atas diskusi, sharing ilmu, masukan-masukannya, dan kerja samanya dalam tim riset. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada teman seperjuangan saya pada saat studi magister dan doktoral, Bpk. Ir. Fauzun, ST, MT, Ph.D., Prof. Ir. Gesang Nugroho, ST, MT, Ph.D., alm. Bpk. Sugiyono, ST, MT, Ph.D., dan Bpk. Ir. M. K Herliansyah, ST, MT, Ph.D., terima kasih atas kebersamaannya.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada seluruh dosen dan tendik di DTMI FT UGM yang tidak dapat saya sebut satu persatu atas bantuan dan kerjasama yang baik selama ini.

Untuk para mentor saya yang telah menyemangati dan mendorong saya dalam capaian ini, Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA, Prof. Ir. Jamasri, Ph.D., Prof. Ir. M. Noer Ilman, ST, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Heru SBR, M.Eng., Ph.D., Prof. Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Budi Hartono, ST, MPm, Ph.D., Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, ST, M.Sc., Ph.D., dan Prof. Ir. Dr.Eng. Deendarlianto, ST, M.Eng., saya menghaturkan banyak terima kasih atas semua bimbingan dan dukungannya.

Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Prof. Ir. Jamasri, Ph.D. dan Prof. Ir. Heru SBR, M.Eng., Ph.D. yang telah berkenan meriviu dan memberikan saran perbaikan pada naskah pidato pengukuhan guru besar saya sehingga naskah pidato lebih konstruktif dan terstruktur. Rasa hormat dan terima kasih saya haturkan juga kepada para guru saya di SD Negeri 1 Gumawang, Kuwarasan, SMP Negeri Buayan, dan SMA Negeri Gombang, Kebumen, Jawa Tengah yang telah meletakkan dasar-dasar

pengetahuan, pengalaman, kepribadian, dan pengembangan diri. Kepada teman-teman seangkatan Teknik Mesin 1992, saya juga mengucapkan terima kasih atas kekompakannya. Ucapan terima kasih juga saya haturkan kepada bapak/ibu kos saya, alm. Bpk. Birun dan alm. Ibu Birun yang telah ikhlas menjadi wakil orang tua saya selama saya studi di Yogyakarta. Semoga beliau berdua mendapat tempat terbaik di sisi-Nya. Aamiin yaa rabbal 'alamin. Kepada teman-teman kos saya di Sendowo F124, Prof. Subejo, SP, M.Sc., Ph.D., Bpk. apt. Wimbuh Dumadi, S.Si., dan Prof. Dr. apt. Arief Nurrochmad, M. Si, M.Sc. terima kasih atas doa dukungan dan persahabatannya selama ini.

Kepada para mahasiswa bimbingan saya baik prodi sarjana, magister, dan doktoral teknik mesin, saya ucapkan banyak terima kasih atas bantuan, kerja keras, dan kerja samanya dalam melakukan penelitian. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Mariatti dari Universiti Sains Malaysia, Prof. Mitsugu Todo dari *Kyushu University*, Prof. Naozumi Teramoto dari *Chiba Institute of Technology*, Prof. Inderdeep Singh dari *Indian Institute of Technology Roorkee*, dan Bpk Dr. Joddy Arya Laksmono dari Pusat Riset Teknologi Polimer, BRIN Serpong, Prof. Chandra Wahyu Purnomo Departemen Teknik Kimia FT UGM atas kolaborasi risetnya dalam skema *Research and Education Grant for University Consortium (RED-UC)* yang dibiayai oleh AUN/SEED-Net JICA Jepang 2023-2025 dengan topik riset “*Towards Environmental Sustainability: Plastic Waste and Composite Materials Research Consortium EnviroPComp*”.

Saya mengucapkan terima kasih kepada Bpk. Welly Ario Tarigan dan Bpk. Agustian Adiwijaya dari PT. Armada Gema Nusantara, juga Bpk. Didit Gencar Laksana dan Bpk. Muhaimin dari PT. PLN Nusantara Power Unit 1 dan 9 atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk mengamalkan ilmu saya di dunia industri khususnya di bidang *Failure Analysis* pada komponen mesin. Terima kasih juga saya ucapkan kepada kolega saya Bpk. Dr. Asep Ridwan Setiawan dari Teknik Material ITB yang telah menjadi *partner* kolaborator yang sangat baik. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Pengurus Badan Kejuruan Teknik Material Persatuan Insinyur Indonesia periode 2020-2023 (Dr. Ir. Jaka Fajar Fatriansyah, M.Sc., IPM, Prof. Dr. Ir. Sri Harjanto (Departemen Metalurgi dan Teknik

Material UI), Dr. Ir. Aditianto (Teknik Material ITB), dan juga Badan Kerja Sama Pendidikan Metalurgi dan Material (BKPM).

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada bapak IPTDA (Purnawan Polisi) H. Asrofi beserta keluarga, bapak Lurah ketika saya KKN 1996, yang telah memberikan pelajaran berharga tentang hidup, kerja keras, dan disiplin. Terima kasih juga saya haturkan kepada bapak apt. Bambang Sarwono, S. Si lurah desa Argomulyo dan bapak Sunaryo, S.Pd. dukuh Srontakan Argomulyo Sedayu Bantul. Ucapan terima kasih juga saya haturkan kepada bapak Abdur Rosid, S.Pd.I yang telah dengan sabar mendidik dan mengajari Farras Muzakki.

Terima kasih yang tulus dan tak bertepi, saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang jasanya tidak mampu saya balas, Bpk. Sukiman dan almrh. Ibu Yusmi, yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik dengan sabar, mendoakan tiada henti, dan menjadi energi serta semangat luar biasa untuk perjalanan hidup saya. Teriring doa semoga Allah Swt menempatkan ibu di tempat yang terbaik di sisi-Nya. Aamiin yaa rabbal 'alamin. Terima kasih saya juga haturkan kepada kakek saya almr. Atmo Taruno yang telah menemani saya mendaftar ulang sebagai mahasiswa baru di UGM pada 1992 dengan naik bis dari Gombang pukul 03.00 wib, semoga Alloh Swt mengampuni segala dosanya dan menerima amal ibadahnya. Aamiin yaa rabbal 'alamin.

Ucapan terima kasih juga saya haturkan pada keluarga besar saya di Gombang, kakak (Mba Sri, mas Yanto, mas Toto), adik (Warno, Woyo, Kendar), dan keponakan semua yang telah mendokan dan mendukung saya. Kepada mertua saya alm. Bpk. Sarimin dan almrh. Ibu Chotijah, saya juga berterima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan, empati, perhatian, dan do'a-do'anya. Semoga Allah Swt menempatkan beliau di tempat yang terbaik. Aamiin yaa rabbal 'alamin. Terima kasih juga saya haturkan kepada keluarga besar saya di Yogyakarta, kakak (mas Agus Suwarno, mas Agus Subagio, yu Siti, yu Sir), adik (Agus Sugiarto, Endang, Cahyo), dan ponakan, terima kasih atas doa dan dukungan, serta kebersamaan selama ini.

Secara khusus, saya persembahkan capaian akademik dan pengukuhan Guru Besar saya untuk orang-orang istimewa yaitu keluarga inti saya. Ucapan terima kasih yang tulus dan tidak akan

pernah cukup saya berikan kepada istri saya tercinta drg. Maryati atas segala kesabaran, pengertian, dan pengorbanannya mengurus keluarga sambil bekerja pada saat saya menyelesaikan studi doktoral di USM. Untuk anak saya Farras Muzakki dan Dzakwan Muntashir, Bapak minta maaf karena tidak bisa kebersamai pada masa keemasan dan kelahiran Dzakwan. Bapak selalu mendoakan semoga kalian menjadi anak yang sholeh, berbakti pada orang tua, semoga berguna bagi nusa, bangsa dan agama. Aamiin yaa rabbal ‘alamin.

Ibu, Bapak, hadirin yang saya hormati,

Demikianlah pidato pengukuhan Guru Besar saya, atas nama pribadi dan keluarga, saya mengucapkan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada seluruh hadirin yang telah sabar dan tulus mendengarkan pidato ini, baik yang hadir di Balai Senat Universitas Gadjah Mada maupun yang mengikuti secara daring melalui Zoom maupun youtube. Tidak lupa saya memohon maaf apabila terdapat hal-hal yang kurang berkenan. Semoga Allah Swt senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin yaa rabbal ‘alamin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N.D., Kusmono, Wildan, M.W., Herianto. Preparation and properties of cellulose nanocrystals-reinforced Poly (lactic acid) composite filaments for 3D printing applications. *Results in Engineering* 17 (2023) 100842.
- Alsaeed, T., Yousif, B.F., Ku, H. A review on the mechanical properties and machinability of natural fiber reinforced composites. *Int J Precis Technol* 2013; 3: 152–182.
- Aryasena, R., Kusmono, Umami, N. Production of cellulose nanocrystals extracted from Pennisetum Purpureum fibers and its application as a lubricating additive in engine oil. *Heliyon* 8 (2022) e11315.
- Askeland, D.R., Fulay, P.P. *Essential of Materials Science and Engineering*. Second Edition. Cengage Learning. (2009).
- Azhary, T., Kusmono, Wildan, M.W., Herianto. Mechanical, morphological, and thermal characteristics of epoxy/glass fiber/cellulose nanofiber hybrid composites. *Polymer Testing* 110 (2022) 107560.
- Bongarde, U.S., Shinde, V. Review on natural fiber reinforcement polymer composites. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology* 3(2) (2014) 431–436.
- Callister, Jr. W.D., Rethwisch, D.G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- Chaudhary, V., Ahmad, F. A review on plant fiber reinforced thermoset polymers for structural and frictional composites. *Polymer Testing* 91 (2020) 106792.
- Dahlke B, Larbig H, Scherzer HD, Poltrock R. Natural fiber reinforced foams based on renewable resources for automotive interior applications. *Journal of Cellular Plastics* 34 (1998) 361-379.
- Daimler, A.G. *New Mercedes-Benz A-class: Environmental Certificate for the A-class* (2018).
- Dhali, K., Ghasemlou, M., Daver, F., Cass, P., Adhikari, B. A review of nanocellulose as a new material towards environmental

- sustainability. *Science of the Total Environment* 775 (2021) 145871.
- Dua, S., Khatri, H., Naveen, J., Jawaid, M., Jayakrishna, K., Norrrahim, M.N.F., Rashedi, A. Potential of natural fiber based polymeric composites for cleaner automotive component production-a comprehensive review. *Journal of Materials Research and Technology* 25 (2023) 1086-1104.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., Garnier, C. A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering* 19 (2023) 101271.
- Hao, W., Wang, M., Zhou, F., Luo, H., Xie, X., Luo, F., Cha, R. A review on nanocellulose as a lightweight filler of polyolefin composites. *Carbohydrate Polymers* 243 (2020) 116466.
- Hestiawan, H., Jamasri, Kusmono. Effect of chemical treatments on tensile properties and interfacial shear strength of unsaturated polyester/fan palm fibers. *Journal of Natural Fibers*. 15(5) (2018) 762–775.
- Holbery, J. Houston, D. Natural-fibre-reinforced polymer composites in automotive applications. *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society* 58 (2006) 80–86.
- Indirasetyo, N.L., Kusmono. Isolation and properties of cellulose nanocrystals fabricated by ammonium persulfate oxidation from *Sansevieria trifasciata* fibers. *Fibers* 10 (2022) 61.
- Ismail, S.O., Akpan, E., Dhakal, H.N. Review on natural plant fibres and their hybrid composites for structural applications: Recent trends and future perspectives. *Composites Part C: Open Access* 9 (2022) 100322.
- Jamasri, Diharjo, K. Studi pengaruh fraksi volume serat terhadap serapan panas radiasi bahan komposit berpenguat limbah serat sawit dengan matrik polyester. *Prosiding SNTTM-V, Kampus UI Depok*, 21-23 November 2006.
- Jamasri, Diharjo, K., Gunesti. Kajian sifat tarik komposit serat buah sawit acak bermatrik poliester. *Media Teknik*, No. 4, Tahun XXVII, November 2005.

- John, M.J., Thomas, S. Biofibres and biocomposites. *Carbohydr Polymer* 71 (2008) 343–364.
- Ilman, K.A., Jamasri, Kusmono. The Effect of stacking sequences and silane treatments on mechanical properties of Agel leaf/Jute/Glass fiber-reinforced hybrid composite. *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal*. 9(4) (2018) 311-329.
- Kusmono, Affan, M.N. Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from ramie fibers via phosphoric acid hydrolysis. *Journal of Natural Fibers* 19(7) (2022) 2744-2755.
- Kusmono, Hestiawan, H., Jamasri. The water absorption, mechanical and thermal properties of chemically treated woven fan palm reinforced polyester composites. *Journal of Materials Research and Technology* 9(3) (2020) 4410-4420.
- Kusmono, Listyanda, R.F., Wildan, M.W., Ilman, M.N. Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from ramie fibers by sulfuric acid hydrolysis. *Heliyon* 6 (2020) e05486.
- Kusmono, Wildan, M.W., Lubis, F.I. Fabrication and characterization of chitosan/cellulose nanocrystal/glycerol bio-composite films. *Polymers* 13 (2021) 1096.
- Li, W., Ji, Z., Dong, F. Global renewable energy power generation efficiency evaluation and influencing factors analysis. *Sustainable Production and Consumption* 33 (2022) 438-453.
- Lotfi, A., Li, H., Dao, D. V., Prusty, G. Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 34(2) (2021) 238–284.
- Lotfi, A., Li, H., Dao, D.V., Prusty, G. Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 34(2) (2019) 1–47.
- Madhu, P., Sanjay, M.R., Jawaid, M., Siengchin, S., Khan, A., Pruncu, C.I. A new study on effect of various chemical treatments on Agave Americana fiber for composite reinforcement: Physico-chemical, thermal, mechanical and morphological properties. *Polymer Testing* 85 (2020) 106437.

- Monteiro, S.N., Lopes, F.P.D., Ferreira, A.S., Nascimento, D.C.O. Natural-fiber polymer-matrix composites: cheaper, tougher, and environmentally friendly. *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society* 61 (2009) 17-22.
- Naik, V., Kumar, M., Kaup, V. A review on natural fiber composite material in automotive applications. *Engineered Science*; 2021.
- Ngo, T.T., Kohl, J.G., Paradise, T., Khalily, A., Simonson, L.D. Improving mechanical properties of thermoset biocomposites by fiber coating or organic oil addition. *International Journal of Polymer Science* 2015 (2015) 1–7.
- Pickering, K.L., Efendy, M.A.G., Le, T.M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A* 83 (2016) 98–112.
- Pratiwi, H., Kusmono, Wildan, M.W. Oxidized cellulose nanocrystals from durian peel waste by ammonium persulfate oxidation. *ACS Omega* 8 (33) (2023) 30262–30272.
- Riedel, U. Natural fibre reinforced biopolymers as construction materials- new discoveries. 2nd International Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel, Germany. (1999).
- Rochardjo, H.S.B. Perkembangan mutakhir material komposit, peluang, dan tantangannya dalam aplikasi di bidang otomotif. Naskah Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Teknik Mesin. 24 Oktober 2023.
- Rochardjo, H.S.B., Ridlo, M. Effects of fiber contents on wear resistance of Salacca frond fiber reinforced phenolic. The 4th International Conference on Science and Technology (ICST), DPP UGM, 2018.
- Saba, N., Mohammad, F., Pervaiz, M., Jawaid, M., Alothman, O.Y., Sain, M. Mechanical, morphological and structural properties of cellulose nanofibers reinforced epoxy composites. *International Journal of Biological Macromolecules* 97 (2017) 190-200.
- Sapuan, S.M., R. A. Ilyas, R.A. *Biocomposite and Synthetic Composites for Automotive Applications*, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2020.
- Sukmawan, Kusmono, Wildan, M.W. Optimizing acetic anhydride amount for improved properties of acetylated cellulose nanofibers

- from Sisal fibers using a high-speed blender. *ACS Omega* 8(30) (2023b) 27117-27126.
- Sukmawan, R., Kusmono, Rahmanta, A.P., Saputri, L.H. The effect of repeated alkali pretreatments on the morphological characteristics of cellulose from oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced epoxy adhesive composite. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 114 (2022) 103095.
- Sukmawan, R., Kusmono, Wildan, M.W. Easy production of acetylated cellulose nanofibers from sisal fibers by conventional high-speed blender. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Article in Press, (2023a).
- Sukmawan, R., Kusmono, Wildan, M.W. Optimizing acetic anhydride amount for improved properties of acetylated cellulose nanofibers from sisal fibers using a high-speed blender. *ACS Omega* 8 (2023b) 27117–27126.
- Thakur, V.K. *Nanocellulose Polymer Nanocomposites: Fundamentals and Applications*. John Wiley. (2014).
- Tóthová, D., Heglasová, M. Measuring the environmental sustainability of 2030 Agenda implementation in EU countries: how do different assessment methods affect results? *Journal of Environmental Management* 322 (2022) 116152.
- Wardhana, H., Haryanti, N.H. *Serat alam: Potensi dan Pemanfaatannya*. Lampung Mangkurat University Press, 2016.

BIODATA



Nama : Prof. Ir. Kusmono, ST, MT, Ph.D., IPM, ASEAN Eng.
TTL : Kebumen, 4 November 1972
NIP : 197211041998031002
Pangkat/Gol : Pembina Tk. 1/ IVb
Jabatan : Guru Besar, 1 Juni 2023
Alamat kantor : Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas
Teknik UGM Jln. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281
Email : kusmono@ugm.ac.id
Alamat rumah : Srontakan RT 05 Argomulyo Sedayu Bantul D.I.
Yogyakarta

Keluarga:

1. drg. Maryati (istri)
2. Farras Muzakki (anak)
3. Dzakwan Muntashir (anak)

Riwayat Pendidikan

SD : SD N I Gumawang, Kuwarasan, Kebumen, Jawa Tengah [Lulus 1985]
SMP : SMP N Buayan, Kebumen, Jawa Tengah [Lulus 1988]
SMA : SMA N Gombong, Kebumen, Jawa Tengah [Lulus 1991]
Sarjana : Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Mesin, FT UGM [Lulus 1997]
Master : Magister Teknik, Teknik Material, Jurusan Teknik Mesin, ITB [Lulus 2002]

- Doktor : Doctor of Philosophy, School of Materials and Mineral Resources Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Sains Malaysia [Lulus 2009]
- Profesi Insinyur : Pendidikan Profesi, Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, UGM [Lulus 2018]

Riwayat Pekerjaan

- 2022 – 2025 : Kepala Laboratorium Bahan Teknik
- 2016 – 2020 : Ketua Program Studi Sarjana Teknik Mesin
- 2013 – 2015 : Kepala Laboratorium Bahan Teknik
- 1998 – sekarang : Dosen Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM

Penghargaan

- 2024 : Penghargaan Kesetiaan 25 Tahun dari Rektor UGM
- 2021 : Penghargaan Satyalancana Karya Satya XX Tahun dari Presiden RI
- 2020 : Penghargaan Kesetiaan 15 Tahun dari Rektor UGM
- 2020 : Penghargaan Publikasi Terbaik Bidang Engineering UGM

Hibah Penelitian Nasional dan Internasional

- 2023 – 2025 : *Research and Education Grant for the University Consortium (REd-UC) between USM Malaysia-UGM-BRIN supported by AUN/SEED-Net, Japan*
- 2023 : Program Peningkatan Academic Excellence
- 2021-2022 : Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi, Kemendikbud RI
- 2018-2019 : Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi, Kemendikbud RI
- 2015-2016 : Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, Kemenristekdikti RI
- 2010-2013 : Research Program for Alumni Members, AUN/SEED-Net JICA, Japan

Asosiasi Profesional

2018 – sekarang : Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

2017 – sekarang : Badan Kerja Sama Pendidikan Metalurgi dan Material (BKPMMD)

Publikasi Ilmiah dengan H-Indeks Scopus = 17 (5 tahun terakhir, terindeks Scopus)

1. Pratiwi, H., **Kusmono**, Wildan, M.W. (2023). Oxidized cellulose nanocrystals from durian peel waste by ammonium persulfate oxidation, *ACS Omega* 8 (33), 30262–30272. [Jurnal]
2. Sukmawan, R., **Kusmono**, Wildan, M.W. (2023). Optimizing acetic anhydride amount for improved properties of acetylated cellulose nanofibers from sisal fibers using a high-speed blender. *ACS Omega* 8 (30), 27117–27126. [Jurnal]
3. Yusuf, B., Pratama, N.W., Ariawan, D., **Kusmono**. (2023). Effect of fumigation treatment on the mechanical properties of cantala fiber–unsaturated polyester composite fabricated by compression molding method. *Proceedings of the 19th Asian Workshop on Polymer Processing (AWPP 2022)*. [Book Chapter]
4. **Kusmono**, Dody Ariawan, Labib Alif Ichsanuddin. (2023) Tensile and Light Transmittance Properties of Polyvinyl Alcohol/Cellulose Nanocrystals/Glycerol Bio-composite Films. *Proceedings of the 19th Asian Workshop on Polymer Processing (AWPP 2022)*. [Book Chapter]
5. Sukmawan, R., **Kusmono**, Wildan, M.W. (2023). Easy production of acetylated cellulose nanofibers from sisal fibers by conventional high-speed blender. *Biomass Conversion and Biorefinery*. In Press. [Jurnal]
6. Aryasena, R., **Kusmono**. (2023). Extraction and characterization of cellulose nanocrystal (CNC) from *Pennisetum Purpureum* stems via ammonium persulfate oxidation. *AIP Conference Proceedings* 2601 (020040). [Prosiding]
7. Triasdian, A., Busairi, N.A., Hatta, I., Salim, U.A., **Kusmono**, Sriwijaya, R., Arifvianto, B. (2023). The investigation of the failed duplex material and remaining life prediction of vortex finder

Cyclone in the circulating fluidized bed boiler. AIP Conference Proceedings 2654. [Prosiding]

8. Hamzah, M.S., Wildan, M.W., **Kusmono**, Suharyadi, E. (2023). Effect of sintering temperature on physical, mechanical, and electrical properties of nano silica particles synthesized from Indonesia local sand for piezoelectric application. *Journal of Asian Ceramic Societies* 11 (1), 178–187. [Jurnal]
9. Ahmad, N.D., **Kusmono**, Wildan, M.W., Herianto. (2023). Preparation and properties of cellulose nanocrystals-reinforced Poly (lactic acid) composite filaments for 3D printing applications. *Results in Engineering* 17 (100842), 1-12. [Jurnal]
10. Aryasena, R., **Kusmono**, Umami, N. (2022). Production of cellulose nanocrystals extracted from *Pennisetum purpureum* fibers and its application as a lubricating additive in engine. *Heliyon* 8 (e11315), 1-11. [Jurnal]
11. Tiwan, Ilman, M.N., **Kusmono**, Sehon. (2022). Microstructure and mechanical performance of dissimilar friction stir spot welded AA2024-O/AA6061-T6 sheets: Effects of tool rotation speed and pin geometry. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* 6 (1), 1-14. [Jurnal]
12. Indirasetyo, N.L., **Kusmono**. (2022). Isolation and properties of cellulose nanocrystals fabricated by ammonium persulfate oxidation from *Sansevieria trifasciata* fibers. *Fibers* 10 (6), 1-17. [Jurnal]
13. Hamzah, M.S., Wildan, M.W., **Kusmono**, Suharyadi, E. (2022). Synthesis of silica nanoparticles from silica sand via vibration assisted alkaline solution method. *International Journal of Engineering TRANSACTIONS A: Basics* 35 (5), 1-7. [Jurnal]
14. **Kusmono**, Affan, M.N. (2022). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from ramie fibers via phosphoric acid hydrolysis. *Journal of Natural Fibers* 19 (7), 2744–2755. [Jurnal]
15. Ilman, M.N., **Kusmono**, Muslih, M.R., Triwibowo, N.A., Sehon. (2022). Enhanced fatigue performance of tandem MIG 5083 aluminium alloy weld joints by heat sink and static thermal tensioning. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture* 5 (4), 440-452. [Jurnal]

16. Azhary, T., **Kusmono**, Wildan, M.W., Herianto. (2022). Mechanical, morphological, and thermal characteristics of epoxy/glass fiber/cellulose nanofiber hybrid composites. *Polymer Testing* 110 (107560), 1-11. [Jurnal]
17. Sukmawan, R., Kusmono, Rahmanta, A.P., Saputri, L.H. (2022). The effect of repeated alkali pretreatments on the morphological characteristics of cellulose from oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced epoxy adhesive composite. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 114 (-), 103095. [Jurnal]
18. Khasani, K., **Kusmono**, P Utami, P., R Budiarto, R. (2021). Corrosion in geothermal facilities: Their causes, effects, mitigation, and worldwide cases AIP Conference Proceedings 2338 (1). [Prosiding]
19. **Kusmono**, Aji, P.P. (2021). Fabrication and tensile properties of ABS/cellulose nanocrystal nanocomposite filaments for 3D printing. AIP Conference Proceedings 2338 (1). [Prosiding]
20. **Kusmono**, Bora, C., Salim, U.A. (2021). Effects of cold rolling and annealing time on fatigue resistance of AA5052 aluminum alloy. *International Journal of Engineering Transactions C: Aspects* 34 (9), 1-9. [Jurnal]
21. Wahyudianto, A., Ilman, M.N., Iswanto, P.T., **Kusmono**, Akhyar. (2021). The effect of tool rotation speed on hardness, tensile strength, and microstructure of dissimilar friction stir welding of dissimilar AA5083 and AA6061-T6 alloys. *Key Engineering Materials* 892, 159-168. [Jurnal]
22. Tiwan, Ilman, M.N., **Kusmono**. (2021). Effect of pin geometry and tool rotational speed on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded joints in AA2024-O aluminum alloy. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications* 34 (8), 184-191. [Jurnal]
23. **Kusmono**, Wildan, M.W., Lubis, F.I. (2021). Fabrication and characterization of chitosan/cellulose nanocrystal/glycerol bio-composite films. *Polymers* 13 (7), 1-14. [Jurnal]
24. Tiwan, Ilman, M.N., **Kusmono**. (2021). Microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded AA5052-H112 aluminum alloy. *Heliyon* 7 (2), 1-16. [Jurnal]

25. **Kusmono**, Wiratma, O.E.R. (2021). Fabrication and characterization of PLA/nanocrystalline cellulose nanocomposite filaments for 3D printing application. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1096 (012055), 1-9. [Prosiding]
26. **Kusmono**, Listyanda, R.F., Wildan, M.W., Ilman, M.N. (2020). Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from ramie fibers by sulfuric acid hydrolysis. Heliyon 6, e05486 [Jurnal]
27. Akbar, D.A., **Kusmono**, Waziz, M.W. (2020). Extraction and characterization of nanocrystalline cellulose (NCC) from ramie fiber by hydrochloric acid hydrolysis. Key Engineering Materials 867, 109-116. [Jurnal]
28. **Kusmono**, Bora, C., Salim, U.A. (2020). Effects of cold rolling (CR) and annealing time on microstructure and mechanical properties of AA 5052 aluminum alloy. Metalurgija 59 (4), 485-488. [Jurnal]
29. Listyanda, R.F., **Kusmono**, Wildan, M.W., Ilman, M.N. (2020). Extraction and characterization of nanocrystalline cellulose (NCC) from ramie fiber by sulphuric acid hydrolysis. AIP Conference Proceedings 2217, 030069. [Prosiding]
30. **Kusmono**, Hestiawan, H., Jamasri. (2020). The water absorption, mechanical and thermal properties of chemically treated woven fan palm reinforced polyester composites. Journal of Materials Research and Technology 9 (3), 4410-4420. [Jurnal]
31. **Kusmono**, Abdurrahim, I. (2019). Water sorption, antimicrobial activity, and thermal and mechanical properties of chitosan/clay/glycerol nanocomposite films. Heliyon 5 (8). [Jurnal]
32. Ilman, H.H.K.A.I., Jamasri, **Kusmono**. (2018). The Effect of Stacking Sequences and Silane Treatments on Mechanical Properties of Agel Leaf/Jute/Glass Fiber-Reinforced Hybrid Composite Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal 9(4), 311-329. [Jurnal]