

BAB IV. FUNGSIONALISASI PLASMA DINGIN UNTUK PENGUAT IKATAN ADHESI PADA KOMPOSIT JERAMI PADI

**Harianingsih^{1*}, Nadya Alfa Cahaya Imani¹, Vera Noviana²
Sulistiyawan, Indra Sakti Pangestu¹, Savira Rinda Erliana¹,
Isnina Noor Ubay¹**

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Negeri Semarang,

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang,
harianingsih@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Bahan lignoselulosa yang berasal dari jerami padi masih belum dioptimalkan sepenuhnya, dengan hanya sekitar 7-16% dari potensinya yang dimanfaatkan dalam industri. Salah satunya adalah pemanfaatannya sebagai bahan pengisi atau penguat dalam produk komposit polimer kayu, namun adhesi antarmuka pada aplikasi tersebut masih menjadi tantangan yang signifikan. Penggunaan perlakuan plasma dingin (atmosferik) sebagai alternatif untuk meningkatkan efektivitas serat jerami pada komposit kayu. Komposit dibuat dengan menggunakan serat jerami dan matriks polyvinyl alcohol yang bersifat *biodegradable*. Perlakuan plasma dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, dan 30 detik, serta dibandingkan dengan komposit tanpa perlakuan plasma. Kekuatan komposit serat jerami/polivinil alkohol dianalisis melalui pengujian flexural, dengan fokus pada setiap variasi waktu perlakuan plasma. Kekuatan *flexural* tertinggi tercapai pada perlakuan plasma dengan durasi 30 detik. Perlakuan plasma, baik dengan maupun tanpa plasma, memberikan perbedaan signifikan dalam kekasaran permukaan. Plasma secara konsisten meningkatkan kekasaran, yang pada gilirannya meningkatkan adhesi antarmuka pada matriks komposit. Potensi peningkatan sifat mekanis dan morfologis komposit serat jerami/polivinil alhohol melalui perlakuan plasma, membuka

peluang baru dalam pengembangan material yang ramah lingkungan dan efisien secara ekonomi.

Kata kunci: Adhesi permukaan, Matriks, Flexural, Kekasaran, Polivinil alkohol

JERAMI PADI DI MASA KINI

Jerami padi sebagai hasil samping pertanian belum sepenuhnya diolah dengan baik di Indonesia. Jerami merupakan bagian tanaman padi yang sudah dihilangkan isinya, sehingga hanya tersisa batang dan daunnya saja. Jumlah jerami padi sangatlah banyak karena Indonesia merupakan salah satu produsen padi yang besar di benua Asia. Jika dihitung dari massa kering padi, maka perbandingan massa jerami padi dan isinya adalah 1,4. Jadi setiap panen padi akan mendapat 1 hingga 1,5 kg jerami padi. Total produksi padi di Indonesia rata-rata mencapai 70 juta ton gabah kering giling, sehingga potensi limbah jerami padi yang dihasilkan dapat mencapai 103,57 ton per tahun.

Selama ini sebagian besar jerami padi tidak diolah lebih lanjut dan hanya dikumpulkan untuk dijadikan kompos atau dibakar oleh petani, sehingga berpotensi menimbulkan penumpukan limbah dan pencemaran lingkungan berupa emisi gas rumah kaca (CO_2 , N_2O , CH_4) atau polusi udara (debu, SO_2 , dan lain-lain). Dari penjelasan permasalahan tersebut maka diperlukan upaya atau teknologi pengolahan untuk mengurangi jumlah limbah jerami padi dengan langkah-langkah yang dapat meningkatkan nilai ekonomisnya tanpa mencemari lingkungan.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengolah limbah jerami padi adalah dengan menjadikannya material komposit. Jerami padi termasuk dalam kelompok serat alam yang terdiri dari selulosa (40–50%), hemiselulosa (20–40%), dan lignin. Selulosa adalah kerangka jerami, dan lignin adalah lapisan pelindungnya. Kedua senyawa ini mempunyai ikatan kovalen (ikatan anisol) dan ikatan nonkovalen (ikatan hidrogen) sehingga membentuk struktur kompleks lignin-karbohidrat. Ketiga

komponen ini terikat kuat sehingga membentuk matriks lignoselulosa sehingga memberikan sifat yang baik.

Komposit dapat digunakan pada polimer yang mengandung sifat kayu dipadukan dengan monomer yang kemudian dipolimerisasi pada kayu untuk digunakan pada aplikasi tertentu (konstruksi dan otomotif). Komposit yang merupakan gabungan dua material atau lebih diharapkan mempunyai sifat unggul yaitu ringan dan sifat mekanik yang baik. Jerami yang memiliki kandungan selulosa dan lignin yang tinggi berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai kayu, serat dan bahan lainnya. Namun dalam penerapannya, komposit berbahan dasar jerami padi mempunyai beberapa kelemahan, seperti seringnya kompatibilitas yang buruk dengan bahan perekat dapat mengakibatkan buruknya kekuatan mekanik komposit yang dihasilkan.

Kekuatan mekanik komposit menjadi parameter yang sangat penting sehingga dapat digunakan sebagai material pada industri otomotif dan konstruksi. Oleh karena itu perlu adanya intervensi metode pembuatan komposit dari jerami padi untuk meningkatkan kompatibilitasnya. Kemampuan mekanik melalui analisis flexural dapat meningkat dengan adanya campuran polivinil alkohol.

Alternatif teknologi untuk memodifikasi permukaan dari serat jerami adalah menggunakan plasma. Penggunaan teknologi plasma mempunyai keunggulan karena tidak menggunakan cairan atau gas berbahaya sehingga aman bagi lingkungan. Plasma juga meningkatkan adhesi permukaan komposit tanpa mempengaruhi sifat internal bahannya. Pengaruh waktu perlakuan plasma dan pada kekuatan flexural antar muka komposit akan dibahas dalam buku ini.

PLASMA DINGIN DAN PENGERTIANNYA

Plasma, sebagaimana mereka definisikan, adalah gas yang terionisasi dalam lucutan listrik, yang berarti plasma merupakan perpaduan kompleks antara elektron, radikal, ion positif, dan ion negatif. Gabungan ini menciptakan sifat-sifat yang sangat berbeda dari gas konvensional, dan materi pada fase ini secara teknis

dikenal sebagai fase plasma. Secara sederhana, plasma dapat diartikan sebagai gas yang telah terionisasi, menempati tempat istimewa sebagai fase keempat dalam hierarki materi setelah fase padat, cair, dan gas..

Plasma merupakan fasa ke empat di alam semesta setelah fasa padatan, cairan dan gas. Plasma berisi gas dimana ion dan elektron terpisah karena energi yang diterima dan mempunyai sifat reaktif. Plasma alamiah dapat kita lihat matahari, bintang-bintang di angkasa, aurora dan kilat. Pembentukan plasma terjadi karena adanya energi tinggi dalam medium gas sehingga terjadi disosiasi dan ionisasi. Disosiasi dan ionisasi berdampak pada transformasi gas dari netral menjadi ion dengan muatan positif dan negatif yang reaktif baik sebagian atau menyeluruh. Berdasarkan temperatur plasma dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu plasma suhu rendah (cold plasma/non equilibrium), plasma termik (non thermal equilibrium) dan plasma panas (thermal/equilibrium plasma).

Plasma dingin terjadi dalam keadaan ketidakseimbangan termal antara elektron dan gas. Suhu pada elektron tinggi sedangkan rendah pada gas karena kecilnya tumbukan antara elektron dan gas. Pada plasma dingin ion berada pada suhu 1000 K dan elektron pada temperatur 50000 K. Aplikasi plasma dingin pada bidang mikroelektronik, pembuatan materi baru dan pengolahan limbah. Plasma termik berada dalam keadaan ketidakseimbangan. Partikel berada pada suhu 3000 K dan elektron berada pada 100000 K. Aplikasi plasma termik pada pengelasan, pemotongan logam dan bisa juga untuk pembersihan polutan.

Berfokus pada suhu generator plasma, terdapat dua kategori plasma, yakni plasma panas bersuhu tinggi dan plasma bersuhu rendah. Plasma bersuhu rendah, atau disebut juga plasma non-termal, dapat diidentifikasi melalui ketidakberubahannya suhu pada daerah sekitar (antar elektroda dan lingkungan sekitar).

Plasma dingin, atau dikenal sebagai plasma non-termal, menandai perkembangan teknologi baru yang signifikan saat ini. Keunikan plasma dingin terletak pada penggunaan prinsip gas

reaktif yang mampu memodifikasi sifat permukaan suatu material atau produk tanpa mengubah karakteristik asli (*bulk properties*) dari material atau produk tersebut. Meskipun demikian, di Indonesia, pemanfaatan dan pengembangan plasma dingin masih tergolong rendah. Plasma dingin memiliki signifikansi penting untuk memberikan landasan pengetahuan dasar terhadap teknologi ini di Indonesia. Adapun alasan mengapa teknologi plasma dianggap cocok dalam sintesis komposit berbasis serat alami didasarkan pada kelebihan berikut.

1. Aktivasi Permukaan

Plasma dingin mampu mengaktivasi permukaan serat jerami, membuatnya lebih reaktif terhadap matriks polimer. Aktivasi ini meningkatkan adhesi antarmuka antara serat dan matriks, sehingga meningkatkan kekuatan mekanis komposit.

2. Modifikasi Permukaan

Perlakuan plasma dapat secara efektif memodifikasi sifat permukaan serat jerami, termasuk peningkatan kekasaran permukaan. Hal ini dapat meningkatkan kontak antara serat dan matriks, meningkatkan daya lekat dan ketahanan mekanis komposit.

3. Penyisipan Gugus Fungsi

Interaksi serat-matriks dapat ditingkatkan melalui penyisipan gugus fungsi baru pada permukaan serat, yang dihasilkan oleh perlakuan plasma. Hal ini dapat memperkuat ikatan antara serat dan matriks, meningkatkan integritas struktural komposit.

4. Peningkatan *Wettability*

Perlakuan plasma meningkatkan *wettability* (kemampuan menerima cairan) serat jerami, sehingga memfasilitasi penyebaran matriks polimer. Distribusi yang lebih merata dari matriks dapat menyebabkan sifat mekanis yang lebih unggul pada komposit.

5. Pengurangan Kontaminan

Plasma dingin juga efektif dalam membersihkan dan mengurangi kontaminan pada permukaan serat, yang

dapat mempengaruhi adhesi dan kualitas antarmuka dalam komposit. Ini memastikan bahwa serat bersih dan siap berinteraksi dengan matriks.

6. Pengurangan Kerusakan Termal

Plasma dingin memiliki keunggulan dalam mengurangi kerusakan termal pada serat organik seperti jerami padi. Perlakuan ini dapat dilakukan pada suhu rendah, menghindari potensi kerusakan struktural serat akibat panas yang tinggi.

7. Kontrol Proses

Perlakuan plasma dingin dapat diatur dan dikontrol dengan baik, memberikan fleksibilitas dalam mendapatkan hasil yang diinginkan pada berbagai parameter seperti durasi dan intensitas plasma. Hal ini memungkinkan optimasi kondisi perlakuan untuk mencapai performa komposit yang maksimal.

PREPARASI SERAT JERAMI UNTUK KOMPOSIT

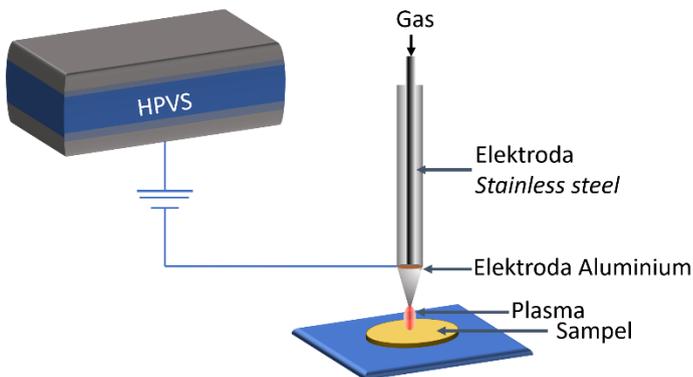
Jerami padi yang digunakan dipisahkan dengan cermat dari kotorannya, kemudian melalui proses pencucian menggunakan air bersih. Setelah dicuci, jerami tersebut kemudian dikeringkan dengan metode penjemuran di bawah sinar matahari hingga mencapai tingkat kekeringan yang optimal. Selanjutnya, jerami yang telah mengalami proses pengeringan tersebut dihaluskan melalui proses pemotongan hingga mencapai ukuran serat yang lebih kecil, dan hasilnya disaring dengan ayakan hingga mencapai ukuran sekitar 1 mm.

Berat serat jerami yang digunakan untuk setiap cetakan komposit berbahan kaca dengan ukuran 7,5 x 7,5 cm² adalah sebanyak 3,5 g. Adapun rasio antara serat jerami dan matriks polivinil alkohol adalah sebesar 20% (berat) untuk serat jerami dan 80% (berat) untuk matriks polivinil alkohol. Dalam proses pencampuran, digunakan Aquades untuk mencampurkan matriks polivinil alkohol untuk memastikan dispersi yang homogen dan kohesif antara serat dan matriks.

Selain itu, untuk memudahkan pengangkatan komposit dari cetakan, digunakan minyak silikon sebagai agen pemisah. Penambahan minyak silikon ini untuk mencegah perlekatan yang berlebihan antara komposit dengan permukaan cetakan, memastikan hasil yang lebih mudah dan presisi dalam proses pelepasan. Dengan penggunaan bahan-bahan ini, proses persiapan dan manipulasi bahan menjadi krusial dalam memastikan kualitas dan reproduktibilitas komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini.

DESIGN SISTEM PLASMA DINGIN UNTUK KOMPOSIT

Plasma dingin yang menggunakan *High Voltage Power Supply* (HVPS). Penggunaan HVPS mempunyai kelebihan dimana proses ionisasi berlangsung *non equilibrium*, sehingga plasma yang dihasilkan mempunyai suhu rendah 58,5–66 °C. HVPS dihubungkan dengan elektroda berbentuk batang baja tahan karat yang bagian dalamnya dikelilingi oleh tabung kaca sedangkan elektroda di bagian bawah berupa pita aluminium yang dihubungkan ke *ground*. Gas argon yang digunakan dialirkan melalui tabung kaca dengan kecepatan 0.2 L mm⁻¹. Rangkaian alat plasma dingin ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Sistem Plasma Dingin

METODE PEMBUATAN KOMPOSIT JERAMI PADI

Adapun tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini terurai sebagai berikut:

1. Perangkaian alat jet plasma

Jet plasma yang menggunakan HPVS yang dihubungkan pada elektroda berupa batang *stainless steel* yang di bagian dalamnya dikelilingi oleh tabung kaca. Di sisi lain, elektroda pada bagian bawah berupa pita aluminium yang terhubung pada *ground*. Gas (nitrogen, udara tekan, argon) yang digunakan dialirkan melalui tabung kaca dengan kecepatan tertentu.

2. Bahan baku

Jerami padi dipisahkan dari pengotor dan dicuci menggunakan air bersih. Jerami yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan cara dijemur dan pengeringan memanfaatkan panas matahari. Setelah kering, jerami dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil dan diayak pada ukuran 1 mm.

3. Proses modifikasi jerami dengan jet plasma

Serbuk jerami padi yang telah seragam ukurannya dipaparkan pada alat jet plasma. Variabel eksperimen yang digunakan adalah jarak antara *nozzle* dan permukaan serbuk serat, voltase, dan waktu paparan.

4. Pabrikasi *Wood-Polymer Composites* (WPC)

Serbuk jerami yang telah mengalami paparan plasma dengan berbagai variasi yang telah ditentukan dan yang tidak mengalami paparan plasma dicampur dengan polimer termoplastik dan polimer termoset sehingga menghasilkan WPC. Polimer termoplastik yang digunakan adalah polivinil alkohol daur ulang. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan *internal mixer* dan *compression molding*. Di sisi lain, polimer termoset yang digunakan adalah *unsaturated polyester* (UP) dengan metode pencampuran antara serbuk jerami padi dan polimer menggunakan *electronic mixer*. Setelah proses

pencampuran dilakukan hingga homogen, campuran di cetak menggunakan alat pencetak.

5. Karakterisasi morfologi dan kekuatan mekanis WPC

Uji kekuatan mekanis dan karakterisasi morfologi dilakukan untuk meninjau efektivitas dari WPC yang telah dihasilkan. Uji kekuatan mekanis yang akan mengukur strength, stress, dan *malleability*-nya akan dilakukan dengan menggunakan *digital microscope* dan *scanning electron microscopy* (SEM).

Komposit ini dihasilkan melalui penggabungan serat jerami dengan matriks polivinil alkohol dalam perbandingan berat 20% : 80%, dengan panjang serat mencapai 1 mm. Proses awal melibatkan pencampuran serbuk polivinil alkohol dengan Akuades dalam rasio 1:8. Campuran ini kemudian diaduk secara merata dan dipanaskan menggunakan pemanas listrik pada suhu 78-100 °C hingga terlarut sepenuhnya. Proses ini bertujuan untuk menciptakan matriks polivinil alkohol yang homogen dan berkekuatan tinggi.

Serat jerami kemudian mengalami perlakuan plasma dengan variasi waktu masing-masing 10, 20, dan 30 detik. Proses ini dilakukan dengan serat yang diaduk secara merata dalam sebuah beaker glass. Selanjutnya, campuran serat jerami yang telah menjalani perlakuan plasma dituangkan pada cetakan kaca yang sebelumnya diolesi dengan minyak silikon. Campuran dikeringkan dalam oven dengan suhu berkisar antara 58.5-66 °C selama 60 menit untuk memberikan kepadatan yang optimal dan memastikan komposit terbentuk secara padat.

Setelah proses pengeringan yang berlangsung pada suhu kamar selama 8 jam dapat dipastikan mempunyai kekeringan yang sempurna. Tujuan pengeringan pada suhu kamar adalah untuk mencegah pengerasan komposit pada cetakan yang dapat menyulitkan proses pengangkatan. Selanjutnya, komposit diekstraksi dari cetakan dan menjalani proses pemanasan tambahan pada oven dengan suhu 58.5-66 °C selama 60 menit guna memperkuat struktur dan meningkatkan kekakuan komposit. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa komposit memiliki

kekuatan yang optimal dan mampu mempertahankan bentuknya dengan baik.

SEM PADA KOMPOSIT JERAMI PADI

Uji morfologi komposit sebelum dan sesudah perlakuan plasma dianalisis menggunakan SEM. Alat yang menganalisis menggunakan hamburan elektron sebagai pengganti cahaya, elektron akan ditangkap oleh *detector*, lalu membentuk gambar 3D dengan resolusi tinggi. SEM memungkinkan analisis mekanisme patahan dan perilaku material saat mengalami beban yang berlebihan. Perubahan morfologi dan struktur permukaan serat komposit. Adapun langkah analisis morfologi dapat dilakukan melalui langkah berikut:

1. Persiapan Sampel

Sebelum analisis SEM, sampel serat komposit dipersiapkan dengan hati-hati untuk memastikan integritas dan representativitas struktur. Sampel dapat diatur dan dilapisi dengan lapisan tipis, misalnya, emas atau platinum, untuk meningkatkan konduktivitas dan mengurangi efek *charging* selama analisis.

2. Akuisisi Gambar

SEM menggunakan elektron untuk menghasilkan gambar 3D dari permukaan sampel. Ketika serat komposit terkena elektron, sinyal yang dihasilkan dapat digunakan untuk membentuk gambar morfologi permukaan dengan resolusi tinggi. Pada tahap ini, gambar-gambar diambil sebelum dan setelah perlakuan plasma.

3. Analisis Morfologi

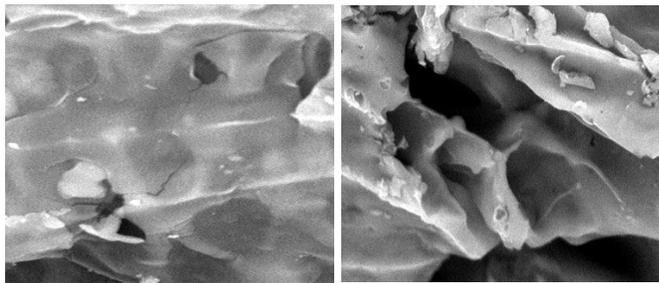
Analisis morfologi melibatkan pengamatan visual terhadap struktur permukaan serat komposit. Pada tingkat mikroskopis, perubahan-perubahan yang mungkin terjadi, seperti retakan, patah, atau perubahan bentuk, dapat diidentifikasi. Analisis ini memberikan wawasan tentang mekanisme patahan

dan perilaku material saat mengalami beban yang berlebihan.

4. Perbandingan morfologi sebelum dan sesudah perlakuan plasma dilakukan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap struktur permukaan serat komposit. Perubahan morfologi yang signifikan dapat memberikan indikasi tentang efek perlakuan plasma terhadap permukaan material.
5. Korelasi dengan Analisis FT-IR

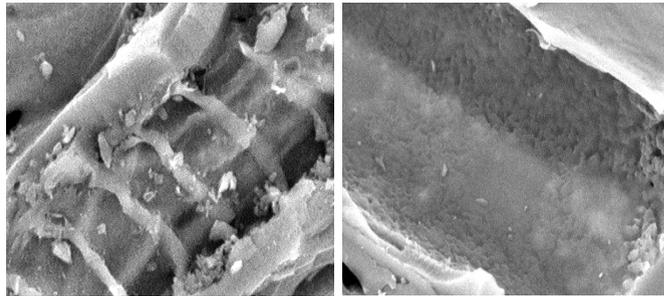
Hasil analisis morfologi dari SEM dapat dikorelasikan dengan hasil analisis FT-IR untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang perubahan pada tingkat mikroskopis dan molekuler. Kombinasi informasi dari kedua teknik analisis ini dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang perubahan struktural serat komposit.

SEM dapat memvisualisasikan dan menganalisis perubahan morfologi pada serat komposit setelah perlakuan plasma, yang dapat memberikan wawasan penting untuk pemahaman mekanisme perubahan sifat material secara mikroskopis.



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4.2. Serat jerami dengan perlakuan plasma selama (a) 10 detik, (b) 20 detik, (c) 30 sdetik dan (d) tanpa perlakuan plasma

Gambar 4.2. menunjukkan serat jerami dengan perlakuan plasma permukaan lebih kasar baik pada 10 , 20, maupun 30 detik. Hal ini karena terjadi proses etsa, plasma menumbuk permukaan serat sehingga membuat perubahan kontur pada serat. Panas yang ditimbulkan akan merusak ikatan polimer pada permukaan lignin yang terdapat pada bagian permukaan sehingga terlihat terkelupas.

Perubahan kekasaran permukaan meningkatkan kekuatan komposit. Pada gambar d, tanpa perlakuan plasma, permukaan serat lebih halus dan merata. Gambar (a), (b) dan (c) terdapat banyak lepuhan, bukit, celah serta tampak berpori di sepanjang permukaan serat. Kekasaran juga terbentuk karena adanya interaksi yang kuat antara spesies reaktif dan elektron serta ion-ion yang terbentuk dalam plasma dengan permukaan serat jerami. Semakin kasar permukaan maka matriks polivinil alkohol akan terikat lebih kencang. Perubahan sifat terjadi pada permukaan polivinil alkohol dari hidrofobik menjadi hidrofilik. Hal ini terjadi karena plasma yang mengandung ion-ion positif dan elektron serta spesies reaktif membombardir permukaan polivinil alkohol, akibatnya permukaan polivinil alkohol terkena radiasi plasma dan menjadi reaktif.

Perubahan morfologi pada polivinil alkohol disebabkan reaksi degradasi dan terbentuknya molekul polimer. Spesies

molekul cenderung meninggalkan matriks polivinil alkohol dan terperangkap dalam gelembung gas sehingga membentuk lepuhan pada permukaan. Efek perubahan morfologi terjadi juga karena terbentuknya bagian amorf pada daerah kristalin polivinil alkohol yang dipicu oleh interaksi dengan plasma. Tumbukan spesies reaktif pada plasma mentransfer energi sehingga dapat menghancurkan daerah kristalin kemudian mengalami relaksasi dalam bentuk *amorf* yang tidak beraturan sehingga ada perbedaan volume pada permukaan dan antarmuka.

UJI FLEXURAL KOMPOSIT JERAMI PADI

Pengujian Flexural dilakukan menggunakan Strenght ZP Recorder 50N Imada dengan menggunakan standar pengujian ASTM D790. Komposit yang telah diuji dipotong dengan ukuran ASTM lebar 0.5 in dan panjang 2 in. Pengukuran uji *flexural* dapat diukur dengan metode *three poin bending test* standar ASTM D790, metode ini akan menguji spesimen secara melintang, pemberian beban diletakkan secara vertikal dengan gaya yang konstan, spesimen material ditempatkan di atas dua titik pendukung dan diberi beban pada titik tengahnya.

Proses uji *flexural*, gaya yang diberikan pada spesimen akan menyebabkan material mengalami deformasi dan tegangan di dalamnya. Proses deformasi material menghasilkan data terkait kekuatan lentur pada persamaan (1) dan regangan maksimum yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\sigma_{fm} = \frac{3.F_m.L}{2.b.d^2} \quad (1)$$

Dimana σ_m adalah tegangan flexural maksimum (N/mm²), F_m adalah gaya maksimum (N), L adalah jarak antara kedua penopang pada standar ASTM D790 (1 inci=25.4 mm), b adalah lebar sampel yang diukur di bagian tengah (mm), d adalah ketebalan sampel yang diukur di bagian tengah (mm).

Tegangan maksimum ialah tegangan yang terjadi pada material saat mencapai titik patah atau kegagalan dalam uji *flexural*. Dalam uji *flexural*, material diberi beban hingga mencapai titik patah. Pada saat mencapai titik patah, material mengalami tegangan maksimum. Kekuatan *flexural* diperoleh dari nilai

tegangan flexural maksimum yang dapat diterima beban (komposit) sebelum dan setelah patah.

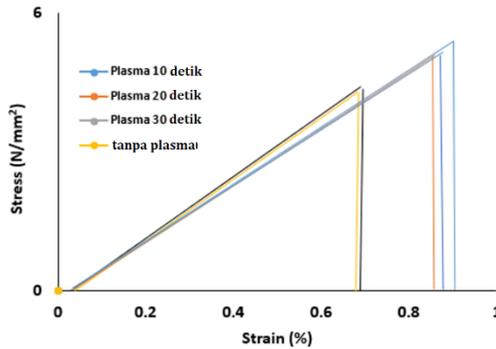
$$\epsilon_f = \frac{6.D.d}{.L^2} \quad (2)$$

Dimana ϵ_f adalah regangan maksimum, D adalah maksimum defleksi, L adalah panjang support (mm) dan d adalah lebar komposit (mm).

Kenaikan tegangan maksimum dan regangan maksimum pada komposit yang telah mengalami perlakuan plasma dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1. dan Gambar 3.3. Kenaikan juga terjadi pada komposit tanpa perlakuan plasma dan perlakuan plasma selama 10, 20, dan 30 detik. Hal ini terjadi karena pada perlakuan plasma terjadi modifikasi permukaan yang dapat mengubah tingkat kekasaran serat jerami. Penambahan tingkat kekasaran dapat meningkatkan adhesi antar muka antara serat jerami dan polivinil alkohol melalui mekanisme *mechanical interlocking*. *Mechanical interlocking* merupakan mekanisme yang terjadi karena ketidakrataan permukaan antara serat jerami dan matriks polivinil alkohol menghasilkan perilaku *lock and key*.

Tabel 4.1. Nilai Maksimum *Stress* dan Maksimum *Strain*

| Spesimen | <i>Max stress</i> N/mm ² | <i>max_strain</i> % |
|------------------|--|------------------------|
| Plasma 30 detik | 19.6128 | 2.80876 |
| Plasma 20 detiks | 16.1720 | 2.65324 |
| Plasma 10 detik | 18.3349 | 2.13582 |
| Tanpa Plasma | 17.8757 | 2.11737 |



Gambar 4.3. Hubungan antara Stress dan Strain pada Komposit

ANALISIS FT-IR KOMPOSIT JERAMI PADI

Analisis FT-IR digunakan sebagai teknik utama untuk menganalisis perubahan pada gugus fungsi serat sebelum dan sesudah perlakuan dengan metode plasma. FT-IR adalah metode spektroskopi inframerah yang dapat memberikan informasi tentang ikatan kimia dan gugus fungsi pada suatu material. Spektrometer FT-IR dari merk Shimadzu Prestige dipilih karena kehandalan dan sensitivitasnya dalam mendeteksi perubahan struktural molekuler pada tingkat mikroskopis. Langkah-langkah pengujian melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Persiapan Sampel:

Sebelum analisis, serat komposit disiapkan dengan cermat dan diatur dalam kondisi yang sesuai untuk menghindari kontaminasi atau perubahan struktural yang tidak diinginkan.

2. Akuisisi Data:

Spektrum FT-IR diambil pada rentang gelombang inframerah tertentu, yang mencakup daerah frekuensi yang relevan untuk gugus fungsi yang diharapkan berubah setelah perlakuan plasma. Pengukuran dilakukan sebelum dan setelah perlakuan untuk membandingkan perubahan spesifik.

3. Analisis Spektrum:

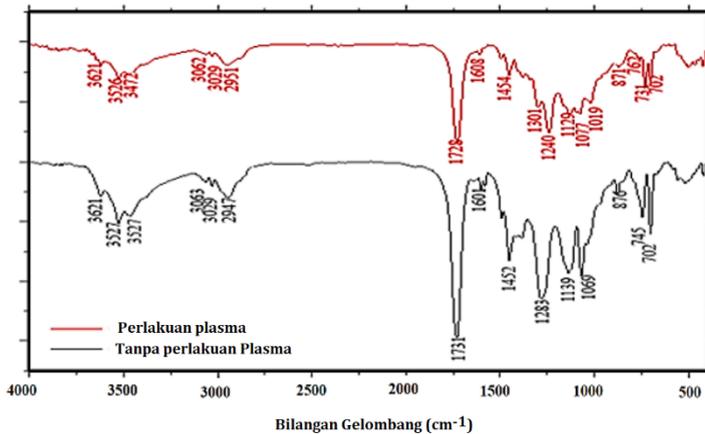
Spektrum FT-IR yang dihasilkan dianalisis untuk mengidentifikasi pergeseran atau perubahan bentuk

puncak-puncak yang dapat mengindikasikan perubahan pada gugus fungsi tertentu. Puncak-puncak karakteristik dapat memberikan wawasan mendalam tentang struktur kimia serat komposit.

4. Perbandingan spektrum Sebelum dan sesudah perlakuan: plasma dilakukan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap gugus fungsi spesifik. Identifikasi perubahan signifikan dalam spektrum dapat memberikan informasi tentang perubahan struktural serat akibat perlakuan.
5. Interpretasi Hasil:

Hasil analisis FT-IR digunakan untuk menginterpretasi perubahan pada tingkat molekuler dan mengaitkannya dengan peningkatan atau perubahan sifat material komposit setelah mendapat perlakuan plasma.

Hasil analisis FT-IR memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang perubahan gugus fungsi pada serat komposit setelah perlakuan plasma, yang dapat menjadi landasan untuk pengembangan material dengan sifat yang lebih unggul.



Gambar 4.4. FTIR Komposit dengan Perlakuan Plasma ($t=10$ detik) dan Tanpa Perlakuan Plasma

FT-IR Komposit dengan perlakuan Plasma ($t=10$ detik) dan tanpa adanya plasma Gambar 4 menunjukkan spektrum puncak dengan intensitas sangat tinggi sekitar 1730 cm^{-1} merupakan

bentangan karbonil C=O. Gugus karbonil sering ditemukan. Kuatnya pita serapan pada 1260 cm^{-1} pada spektrum IR menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O. Puncak ganda pada sekitar 700 cm^{-1} dalam spektrum IR polivinil alkohol tak jenuh ortoftalat dan isoftalat dapat dikaitkan dengan cincin aromatik. Pita ganda sekitar 700 cm^{-1} dalam spektrum IR polivinil alkohol tak jenuh ortoftalat dan isoftalat dapat diasosiasikan dengan cincin aromatik, seperti cincin benzena yang terdapat dalam senyawa ini. Intensitas puncak ganda sekitar 700 cm^{-1} menunjukkan bahwa dua jenis getaran berbeda terjadi dalam molekul, dan yang satu lebih kuat atau lebih kuat dari yang lain. Puncak cincin aromatik lain yang muncul pada kedua sampel adalah 3621 cm^{-1} , 1601 cm^{-1} untuk komposit dengan perlakuan plasma, dan 3621 cm^{-1} , 1608 cm^{-1} untuk komposit tanpa plasma. Puncak pada 1069 cm^{-1} dan 1139 cm^{-1} pada spektrum IR dengan perlakuan plasma lebih intens dibandingkan tanpa perlakuan plasma, biasanya berhubungan dengan vibrasi ulur C-O. Puncak pada 2947 cm^{-1} dan 1450 cm^{-1} berhubungan dengan gugus. Pita serapan pada daerah $3600 - 3400\text{ cm}^{-1}$ pada spektrum IR poliester tak jenuh menunjukkan adanya O-H (hidroksil). Pita serapan yang teramati pada daerah ini kemungkinan disebabkan oleh vibrasi regangan ikatan O-H, dan tidak terjadi pembentukan gugus kimia fungsional baru pada komposit.

PENUTUP

Penerapan plasma dingin dalam sintesis komposit dari serat jerami dengan matriks polivinil alkohol tidak hanya terbukti efektif dalam meningkatkan adhesi antarmuka, namun juga menghasilkan sejumlah aspek penting yang memberikan kontribusi signifikan pada perbaikan sifat mekanis dan morfologis komposit. Secara khusus, proses kontak antara serat dan plasma menunjukkan dampak yang berkelanjutan terhadap peningkatan kekuatan flexural komposit. Pengamatan menunjukkan bahwa semakin lama proses kontak antara serat dan plasma, semakin meningkat pula kekuatan *flexural*. Dalam konteks ini, kekuatan *flexural* secara konsisten mengalami peningkatan yang nyata pada

sampel yang telah menjalani perlakuan plasma dibandingkan dengan yang tidak mengalami perlakuan plasma. Selain itu, pengaruh waktu dalam penelitian ini tidak hanya memengaruhi peningkatan kekasaran permukaan serta, tetapi juga memperlihatkan pengaruh yang signifikan pada nilai *stress* maksimum dan *strain* maksimum. Variasi waktu dalam perlakuan plasma memberikan kontrol yang terukur terhadap karakteristik mekanis komposit, menghasilkan perbaikan yang nyata pada performa mekanis komposit. Meskipun demikian, analisis FT-IR tidak menunjukkan adanya pembentukan gugus kimia baru pada serat selama perlakuan plasma. Hal ini memberikan bukti kuat bahwa teknologi plasma yang diterapkan dalam sintesis komposit tidak secara substansial mengubah sifat internal bahan. Dengan kata lain, perubahan pada komposit lebih bersifat pada tingkat permukaan, meningkatkan interaksi antara serat dan matriks tanpa memodifikasi struktur kimia dasar bahan. Kesimpulan yang dapat ditarik adalah bahwa penggunaan plasma dingin dalam sintesis komposit serat jerami/polivinil alkohol bukan hanya meningkatkan kualitas antarmuka dan kekuatan mekanis, tetapi juga memberikan kendali yang dapat diatur terhadap karakteristik komposit dengan variasi waktu perlakuan plasma. Ini membuka peluang luas dalam pengembangan material yang tidak hanya kuat dan tahan lama tetapi juga ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Semarang (UNNES) atas pemberian dana Penelitian Dasar tahun 2023 dengan Nomor 30.17.4/UN37/PPK.05/2023.

DAFTAR PUSTAKA

Alonso-Montemayor, F.J., Navarro-Rodríguez, D., Delgado-Aguilar, M., Neira-Velázquez, M.G., Aguilar, C.N., Castañeda-Facio, A.O., Reyes-Acosta, Y.K. and Narro-Cespedes, R.I., 2022. Plasma-treated lignocellulosic fibers for polymer reinforcement. *A review. Cellulose*, 29(2), 659-683.

- Al-Tayyar, N.A., Youssef, A.M. and Al-Hindi, R.R., 2020. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 26, p.e00215.
- Bahrami, R., Zibaei, R., Hashami, Z., Hasanvand, S., Garavand, F., Rouhi, M., Jafari, S.M. and Mohammadi, R., 2022. Modification and improvement of biodegradable packaging films by cold plasma; a critical review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(7), 1936-1950.
- Beltrán, D., J., Barrero, A., C., Pérez, C., P., 2019. Cold Plasma Treatment of Rice Straw for the Improvement of Its Biodegradability and Anaerobic Digestion. 7, 889.
- Berthomieu, C. and Hienerwadel, R., 2009. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis research*, 101, 157-170.
- Borrelle, S.B., Ringma, J., Law, K.L., Monnahan, C.C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G.H., Hilleary, M.A. and Eriksen, M., 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515-1518.
- Chen, W., Xu, Y., Shi, S., Cao, Y., Chen, M. and Zhou, X., 2018. Fast modification on wheat straw outer surface by water vapor plasma and its application on composite material. *Scientific Reports*, 8(1), 2279.
- Das, D., Panesar, P.S., Saini, C.S. and Kennedy, J.F., 2022. Improvement in properties of edible film through non-thermal treatments and nanocomposite materials: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100843.
- Friedrich, D., 2021. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. *Composite Structures*, 262, 113649.
- Friedrich, D., 2022. Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector

- expert study. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 506-517.
- Gupta, R.K., Guha, P. and Srivastav, P.P., 2022. Natural polymers in bio-degradable/edible film: A review on environmental concerns, cold plasma technology and nanotechnology application on food packaging-A recent trends. *Food Chemistry Advances*, 1, 100135.
- Iqbal, M.W., Riaz, T., Yasmin, I., Leghari, A.A., Amin, S., Bilal, M. and Qi, X., 2021. Chitosan-based materials as edible coating of cheese: A review. *Starch-Stärke*, 73(11-12), 2100088.
- Kasih, T.P. and Nasution, J., 2019. Pengembangan Teknologi Plasma Dingin untuk Modifikasi Karakteristik Permukaan Material Tanpa Mengubah Sifat Dasar Material. *Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri*, 10(3), 182872.
- Levchenko, I., Xu, S., Baranov, O., Bazaka, O., Ivanova, E.P. and Bazaka, K., 2021. Plasma and polymers: recent progress and trends. *Molecules*, 26(13), 4091.
- Lin, L. and Keidar, M., 2021. A map of control for cold atmospheric plasma jets: From physical mechanisms to optimizations. *Applied Physics Reviews*, 8(1).
- Macedo, M.J., Silva, G.S., Feitor, M.C., Costa, T.H., Ito, E.N. and Melo, J.D., 2020. Surface modification of kapok fibers by cold plasma surface treatment. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 2467-2476.
- Maharsih, I.K., Pusfitasari, M.D., Putri, C.A.S. and Hidayat, M.T., 2021, April. Performance evaluation of cassava peels starch-based edible coating incorporated with chitosan on the shelf-life of fresh-cut pineapples (*Ananas comosus*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 733, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Miebach, L., Freund, E., Clemen, R., Weltmann, K.D., Metelmann, H.R., von Woedtke, T., Gerling, T., Wende, K. and Bekeschus, S., 2022. Conductivity augments ROS and RNS delivery and tumor toxicity of an argon plasma jet. *Free Radical Biology and Medicine*, 180, 210-219.
- Nur, M., 2011. *Fisika Plasma dan Aplikasinya*.

- Ojeda, G.A., Arias Gorman, A.M., Sgroppo, S.C. and Zaritzky, N.E., 2021. Application of composite cassava starch/chitosan edible coating to extend the shelf life of black mulberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1),e15073.
- Putra, V.G.V. and Susanto, T., 2021. Tinjauan Mengenai Penerapan Fisika Plasma Pada Bidang Tekstil. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 32(1), 1-18.
- Silva, O.A., Pellá, M.C.G., Friedrich, J.C., Pellá, M.G., Beneton, A.G., Faria, M.G., Colauto, G.A., Caetano, J., Simões, M.R. and Dragunski, D.C., 2021. Effects of a native cassava starch, chitosan, and gelatin-based edible coating over guavas (*Psidium guajava* L.). *ACS Food Science & Technology*, 1(7), 1247-1253.
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A.T. and Upadhyay, A., 2020. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Sun, X., Wang, J., Dong, M., Zhang, H., Li, L. and Wang, L., 2022. Food spoilage, bioactive food fresh-keeping films and functional edible coatings: Research status, existing problems and development trend. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 122-132.
- Zhou, H., Li, W., Hao, X., Zong, G., Yi, X., Xu, J., Ou, R. and Wang, Q., 2022. Recycling end-of-life WPC products into ultra-high-filled, high-performance wood fiber/polyethylene composites: A sustainable strategy for clean and cyclic processing in the WPC industry. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 1-14.