

EKSTRAKSI DAN PENENTUAN KADAR SELULOSA DARI EMPULUR BATANG GEWANG (*Corypha utan* Lamk.) MELALUI METODE ALKALI DAN ACETOSOLV

Imanuella Aprilya Eunike Blegur, Prof. Ir. Herianus J.D. Lalel, MSi., Ph.D.*,
Nixon Rammang, S.hut., M.Si **, Roni Haposan Sipayung, S.Hut., M.Sc***

Email: Imanuellablegur@gmail.com

Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Cendana

ABSTRAK

Empulur batang Gewang merupakan biomassa palma non-kayu yang melimpah di Nusa Tenggara Timur, namun pemanfaatannya sebagai sumber selulosa struktural belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan (1) menentukan kandungan selulosa dan lignin residu empulur batang Gewang dengan metode serat deterjen ADF–ADL, (2) membandingkan efektivitas metode ekstraksi alkali soda– AQ dan acetosolv terhadap rendemen selulosa yang dihasilkan, (3) menganalisis pengaruh agen bleaching hidrogen peroksida (H_2O_2) dan natrium hipoklorit ($NaOCl$) terhadap rendemen dan kecerahan selulosa, serta (4) mengkaraktirisasi panjang serat selulosa empulur batang Gewang. Analisis ADF–ADL menunjukkan bahwa empulur batang Gewang memiliki selulosa residu sekitar 10,25% dan lignin residu 1,02% pada basis berat kering, menandakan fraksi selulosa struktural yang terbatas dan dominasi karbohidrat non- struktural. Ekstraksi menggunakan metode alkali soda– AQ menghasilkan rendemen selulosa 12,7%, sedangkan metode acetosolv hanya 3,2% dari berat kering bahan awal. Proses bleaching dengan kombinasi metode ekstraksi dan agen pemutih memberikan rendemen 54,7% (acetosolv– H_2O_2), 54,0% (alkali– H_2O_2), 49,6% (acetosolv– $NaOCl$), dan 38,3% (alkali– $NaOCl$), dengan nilai kecerahan L berturut-turut 64,87; 62,31; 71,40; dan 67,97. Analisis One-Way ANOVA diikuti uji lanjut Bonferroni menunjukkan bahwa perbedaan kecerahan antar perlakuan bleaching bersifat nyata ($p < 0,05$). Pengukuran 300 serat menghasilkan panjang serat rata-rata 0,53 mm dengan kisaran 0,15–1,20 mm, sehingga serat selulosa empulur batang Gewang tergolong serat pendek. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa empulur batang Gewang memiliki potensi terbatas sebagai sumber selulosa struktural, dengan metode alkali soda–AQ lebih efektif dibandingkan acetosolv dalam melepaskan selulosa. Ditinjau

dari karakter panjang serat dan rendemen, selulosa empulur batang Gewang lebih berpotensi dimanfaatkan sebagai komponen campuran dalam sistem pulp non-kayu, bahan pengisi komposit, atau bahan baku awal produk selulosa bernilai tambah skala terbatas, daripada sebagai sumber utama pulp kertas berkekuatan tinggi.

Kata kunci: selulosa, empulur batang Gewang, alkali soda–AQ, acetosolv, bleaching, panjang serat.

I. Pendahuluan

Permintaan global terhadap produk berbasis serat selulosa terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan konsumsi produk kemasan, kertas, tekstil, serta material berbasis biopolimer (Sridach, 2010). Secara tradisional, industri *pulp* dan kertas bergantung pada kayu hutan sebagai sumber utama serat selulosa, namun tekanan terhadap sumber daya hutan yang semakin besar mendorong pencarian bahan baku alternatif yang lebih berkelanjutan (Khan *et al.*, 2024). Dalam konteks ini, biomassa non-kayu (*non-wood*) seperti residu pertanian, rumput tahunan, dan limbah agroindustri muncul sebagai kandidat potensial karena ketersediaannya yang melimpah, siklus tumbuh yang lebih cepat, serta peluang untuk memanfaatkan limbah yang selama ini kurang bernilai ekonomi (Bhardwaj *et al.*, 2019; Gharehkhani *et al.*, 2017).

Biomassa lignoselulosa tersusun atas tiga komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang terikat dalam matriks kompleks di dinding sel tumbuhan (Butnariu dan Ionut-Flavius, 2022). Selulosa merupakan biopolimer alami paling melimpah di bumi yang dicirikan oleh kekuatan mekanik tinggi, stabilitas kimia yang baik, dan biokompatibilitas, sehingga banyak digunakan dalam industri kertas, tekstil, pangan, farmasi, hingga material maju (Gupta *et al.*, 2019; Heinze, 2015). Untuk memperoleh selulosa dari biomassa lignoselulosa, diperlukan proses pemisahan lignin dan hemiselulosa melalui tahap ekstraksi kimia

yang efektif, karena kedua komponen tersebut secara alami menutupi dan mengikat serat selulosa dalam jaringan dinding sel (Krstić *et al.*, 2018).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa biomassa non-kayu memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kayu dalam konteks produksi pulp, antara lain kebutuhan energi yang lebih rendah selama proses *pulping*, emisi polutan yang dapat diminimalkan, serta potensi pengembangan ekonomi sirkular di tingkat lokal melalui pemanfaatan residu pertanian (Rezayati-Charani *et al.*, 2006). Di sisi lain, serat non-kayu umumnya memiliki panjang yang lebih pendek dibandingkan serat kayu lunak (*softwood*), sehingga posisinya dalam formulasi *pulp* lebih cocok sebagai komponen campuran atau bahan pendukung formasi lembaran daripada sebagai serat penguat utama (Nazhad, 2021). Karakteristik morfologi serat seperti panjang, diameter, dan kekasaran (*coarseness*) sangat menentukan sifat fisik dan mekanik produk akhir berbasis selulosa, sehingga karakterisasi morfologi menjadi tahap penting dalam menilai potensi suatu biomassa non-kayu (Foelkel, 2006; Sridach *et al.*, 2010).

Indonesia memiliki kekayaan biodiversitas yang tinggi, termasuk berbagai jenis palma endemik yang tersebar di berbagai wilayah kepulauan (Witono, 2018). Salah satu palma yang menarik untuk dieksplorasi sebagai sumber lignoselulosa adalah Gebang atau Gewang (*Corypha utan Lamk.*), yaitu palma monokarpik dari famili *Arecaceae* yang tumbuh melimpah di Nusa Tenggara Timur (NTT) (Lalel dan Riwu Kaho, 2018). Tanaman ini memiliki karakteristik unik sebagai palma yang hanya berbunga dan berbuah sekali seumur hidup pada usia sekitar 30–40 tahun sebelum mati, sehingga pada masa akhir siklus hidupnya menghasilkan biomassa dalam jumlah besar yang berpotensi dimanfaatkan (Lalel *et al.*, 2024).

Secara tradisional, masyarakat NTT telah lama memanfaatkan Gewang untuk berbagai keperluan. Empulur batang Gewang tua diolah menjadi pati kasar yang dikenal sebagai "putak" untuk pangan lokal, dengan potensi hasil pati kering rata-rata sekitar 281 kg per pohon (Lalel dan Riwu Kaho, 2018). Daun Gewang digunakan sebagai atap rumah tradisional, anyaman tikar, keranjang, dan berbagai kerajinan tangan, sedangkan batang yang dipotong dimanfaatkan sebagai bahan bangunan sederhana (Achmad, 2016; Male dan Bani, 2023). Penelitian pada

epidermis pelepah Gewang menunjukkan kandungan selulosa mencapai sekitar 46,05% dan hemiselulosa 28,93%, dengan lignin sekitar 14,97% (Achmad, 2016). Namun demikian, pemanfaatan bagian batang Gewang sebagai sumber serat atau selulosa struktural masih sangat terbatas dan informasi ilmiah mengenai karakteristik selulosanya relatif minim.

Batang palma memiliki anatomi yang berbeda dengan kayu dikotil. Tidak seperti kayu yang memiliki kambium dan pertumbuhan sekunder teratur, batang palma tersusun atas berkas pembuluh (*vascular bundle*) yang tersebar dalam jaringan parenkim (*parenchyma ground tissue*) (Ramle *et al.*, 2019). Secara fisiologis, bagian batang dan empulur Gewang berfungsi terutama sebagai organ penyimpanan cadangan makanan dalam bentuk pati, sedangkan bagian pelepah dan jaringan serat lebih berperan sebagai struktur penunjang mekanis (Achmad, 2016; Lalel *et al.*, 2018). Data kandungan gizi empulur Gewang menunjukkan bahwa fraksi karbohidrat total mencapai sekitar 84,63 g per 100 g bahan, dengan pati sebagai komponen utama sebesar sekitar 67 g per 100 g (Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain, 2015; Ndun *et al.*, 2017). Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar unit glukosa pada batang Gewang tersimpan sebagai pati di jaringan parenkim, bukan sebagai selulosa struktural pada dinding sel, sehingga potensi rendemen selulosa dari batang Gewang perlu dikaji secara empiris.

Data dari *database PROSEA (Plant Resources of South East Asia)* menyebutkan bahwa sel serat di dalam batang *Corypha utan* memiliki panjang sekitar 1,2–2,3 mm dengan diameter 28–35 μm dan lebar lumen 13–18 μm (PROSEA, 2002). Nilai ini menempatkan serat Gewang dalam kategori serat pendek hingga menengah yang sebanding dengan berbagai serat palma lainnya seperti tandan kosong kelapa sawit dan kelapa (Wan Rosli *et al.*, 2004; Hassan *et al.*, 2011). Karakterisasi morfologi serat batang palma juga menunjukkan bahwa faktor ketinggian bagian batang dan usia tanaman dapat mempengaruhi dimensi serat (Lim dan Gan, 2005). Mengingat batang Gewang yang dimanfaatkan umumnya berasal dari tanaman tua yang telah mencapai akhir siklus hidupnya, karakterisasi morfologi serat pada kondisi tersebut menjadi relevan untuk menilai potensi aplikasinya.

Untuk memisahkan fraksi selulosa dari matriks lignoselulosa, diperlukan proses ekstraksi yang dapat melarutkan lignin dan hemiselulosa secara selektif. Dua pendekatan yang banyak digunakan pada biomassa non-kayu adalah *pulping* alkali dan *pulping* organosolv (Sun *et al.*, 2004). *Pulping* alkali, khususnya proses soda menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH), bekerja melalui mekanisme pembengkakan serat (*fiber swelling*) dimana ion hidroksida (OH^-) menyebabkan pemutusan ikatan hidrogen antar komponen dinding sel, meningkatkan porositas struktur, dan mempermudah akses larutan ke bagian internal jaringan untuk memutus ikatan lignin–karbohidrat (*lignin–carbohydrate complex*, LCC) secara bertahap (Rodríguez *et al.*, 2010; Nakyp *et al.*, 2024). Penambahan antrakinin (AQ) dalam sistem alkali berperan sebagai katalis redoks yang meningkatkan selektivitas delignifikasi dan membantu menekan degradasi selulosa selama pemasakan (Rodríguez *et al.*, 2010). Keunggulan proses soda dibandingkan proses *kraft* konvensional adalah tidak menghasilkan emisi belerang berbau, lebih sederhana, dan dapat diterapkan dalam skala kecil di dekat daerah pertanian (Rodríguez *et al.*, 2010; Bose *et al.*, 2009).

Di sisi lain, *pulping* acetosolv merupakan salah satu pendekatan organosolv yang menggunakan asam asetat (CH_3COOH) sebagai pelarut utama, sering dikombinasikan dengan katalis asam mineral seperti asam klorida (HCl) (Wanrosli *et al.*, 2011). Mekanisme utama proses acetosolv adalah hidrolisis ikatan β -O-4 dan α -O-4 dalam struktur lignin melalui solvolisis, yang menyebabkan lignin dan hemiselulosa larut dalam media asam asetat sementara fraksi selulosa yang lebih kristalin dipertahankan (Marks *et al.*, 2023; Tofani *et al.*, 2024). Proses ini memiliki keunggulan dari segi keberlanjutan karena pelarut asam asetat dapat dipulihkan dan didaur ulang, serta lignin yang diperoleh memiliki kemurnian tinggi dengan potensi sebagai sumber bahan kimia terbarukan (Marks *et al.*, 2023). Namun, karena medium reaksi bersifat asam dan tidak menghasilkan pembengkakan serat sekuat larutan basa, efektivitas proses acetosolv sangat bergantung pada kemampuan pelarut menembus jaringan dan ketebalan dinding sel bahan baku (Sun *et al.*, 2004; Wanrosli *et al.*, 2011).

Setelah tahap ekstraksi, selulosa yang diperoleh umumnya masih memiliki warna kecokelatan atau keabu-abuan akibat sisa lignin, hemiselulosa, dan ekstraktif berwarna yang tertahan dalam matriks serat. Komponen-komponen tersebut berperan sebagai kromofor yang menyerap cahaya tampak dan menyebabkan warna gelap pada *pulp* non-kayu (Khan *et al.*, 2024). Kromofor adalah bagian dari molekul yang bertanggung jawab atas warnanya. Warna muncul ketika molekul menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu di wilayah spektrum terlihat dan memantulkan atau mengirimkan yang lainnya. Kromofor secara spesifik berinteraksi dengan cahaya ini melalui eksitasi elektron, yang memicu penyerapan energi cahaya. Proses *bleaching* diperlukan untuk menurunkan intensitas warna dan menghasilkan selulosa dengan penampakan yang lebih cerah dan seragam. Secara umum, agen *bleaching* bekerja melalui reaksi oksidasi yang memutus atau mengoksidasi gugus kromofor pada lignin dan senyawa berwarna lainnya, sehingga struktur penyerap cahaya terdegradasi menjadi bentuk yang kurang berwarna (Bajpai, 2016).

Dua agen *bleaching* yang umum digunakan pada selulosa non-kayu adalah hidrogen peroksida (H_2O_2) dan natrium hipoklorit ($NaOCl$). Hidrogen peroksida termasuk dalam kelompok agen pemutih bebas klorin (*Totally Chlorine Free*, TCF) yang banyak dikembangkan pada sistem *bleaching* ramah lingkungan (Bajpai, 2016). Mekanisme kerja H_2O_2 melibatkan pembentukan radikal hidroksil dan anion hidroperoksida yang menyerang gugus kromofor lignin, meskipun radikal-radikal tersebut juga berpotensi menyebabkan degradasi selulosa bila kondisinya tidak terkontrol (Leporini Filho, 2002). Natrium hipoklorit ($NaOCl$), di sisi lain, dikenal memiliki daya pemutih yang sangat kuat karena ion hipoklorit (OCl^-) dan asam hipoklorit ($HOCl$) yang terbentuk dalam larutan sangat efektif mengoksidasi gugus kromofor aromatik pada lignin (Li *et al.*, 2020). Namun, $NaOCl$ bersifat lebih agresif terhadap karbohidrat dan berpotensi menurunkan derajat polimerisasi selulosa bila konsentrasi atau waktu kontak terlalu tinggi, serta menimbulkan isu lingkungan terkait pembentukan senyawa organoklorin (Amrillah *et al.*, 2024).

Penelitian sebelumnya mengenai tanaman Gewang lebih banyak menyoroti pemanfaatan pati untuk pangan, daun untuk kerajinan, dan serat pelepah untuk komposit (Siregar *et al.*, 2021;). Siregar *et al.* (2021) berhasil mengekstraksi selulosa dari daun Gewang dan menggunakannya sebagai bahan baku karboksimetil selulosa untuk film antibakteri. Mengingat karakter empulur batang Gewang sebagai organ penyimpan pati dengan kandungan selulosa struktural yang diduga terbatas, penelitian ini menjadi penting untuk memberikan gambaran awal mengenai potensi dan keterbatasan bahan ini sebagai sumber selulosa.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengekstraksi selulosa dari empulur batang Gewang menggunakan dua metode, yaitu *pulping* alkali (soda-AQ) dan *pulping* acetosolv, kemudian membandingkan rendemen yang dihasilkan. Selulosa hasil ekstraksi selanjutnya dimurnikan melalui proses *bleaching* menggunakan dua jenis agen pemutih (H_2O_2 dan NaOCl) untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap rendemen dan perubahan penampakan. Karakterisasi morfologi serat dilakukan untuk mengetahui panjang serat rata-rata, sehingga posisi serat empulur batang Gewang dapat dibandingkan dengan bahan baku *pulp* non-kayu lainnya. Skripsi ini diharapkan dapat menjadi dasar awal untuk pengembangan aplikasi selulosa empulur batang Gewang pada penelitian lanjutan, baik sebagai komponen campuran pulp, bahan pengisi komposit, maupun bahan film dan adsorben berbasis selulosa.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Februari sampai April 2026 di *Pulp and Paper Engineering Program*, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand. Bahan utama yang digunakan adalah empulur batang Gewang (*Corypha utan Lamk.*) dari Kelurahan Naibonat, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur.

Bahan utama yang digunakan adalah empulur batang Gewang (*Corypha utan Lamk.*) yang berasal dari Desa Oebelo, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Bahan kimia yang digunakan meliputi larutan *Acid Detergent Fiber* (ADF), asam sulfat 72%, natrium hidroksida (NaOH), antrakinon (AQ), asam asetat glasial (CH_3COOH), asam klorida (HCl), hidrogen peroksida (H_2O_2), natrium hipoklorit (NaOCl), aquades, etanol.

Peralatan yang digunakan meliputi oven, neraca analitik, blender, ayakan, *water bath*, *hot plate*, reaktor *pulping*, alat refluks, corong Buchner, pompa vakum, kertas saring, desikator, *colorimeter*, mikroskop, kamera mikroskop, serta perangkat lunak *ImageJ* untuk analisis panjang serat.

Preparasi sampel

Batang Gwang yang telah ditebang dipotong pada bagian empulur, kemudian bagian empulur dipisahkan dari kulit luar dan dipotong kecil berbentuk *chip*. Sampel dikeringanginkan selama 4 hari pada suhu ruang untuk menghindari kerusakan komponen kimia bahan. Sebagian sampel kering digiling dan diayak dengan ukuran 40–60 mesh untuk analisis komposisi kimia awal, sedangkan bagian lainnya digunakan untuk proses ekstraksi.

Analisis ADF–ADL

Analisis komposisi kimia bahan baku dilakukan menggunakan metode Van Soest untuk menentukan kandungan *Acid Detergent Fiber* (ADF) dan *Acid Detergent Lignin* (ADL) (Van Soest *et al.*, 1991). Dari nilai ADF dan ADL dapat dihitung estimasi kandungan selulosa dan lignin.

A. Analisis ADF (*Acid Detergent Fiber*)

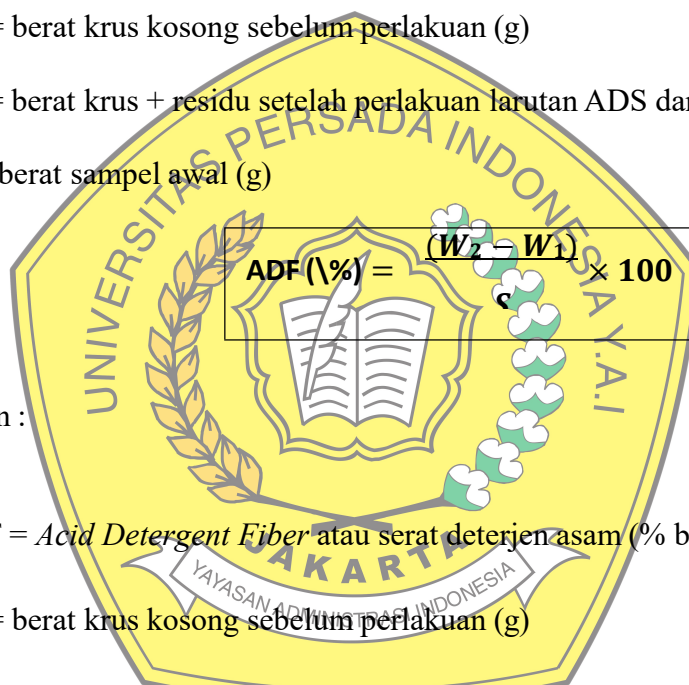
1. Sampel kering udara sebanyak ± 1 g (berat W_1) dimasukkan ke dalam labu ekstraksi pada *Crude Fiber Extraction Unit* LABCONCO.
2. Ditambahkan 100 mL larutan *Acid Detergent Solution* (ADS) yang terdiri dari H_2SO_4 1 N dan CTAB 2%.
3. Campuran dipanaskan hingga mendidih dan direfluks selama 60 menit.
4. Campuran disaring menggunakan corong Buchner dan kertas saring yang telah diketahui beratnya (W_0) dengan bantuan pompa vakum.
5. Residu dicuci dengan air panas dan aseton, kemudian dikeringkan pada suhu $105^\circ C$ hingga berat konstan (W_2).

6. Kandungan ADF dihitung dengan rumus:

$$\text{ADF (\%)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

Keterangan :

- a) ADF = *Acid Detergent Fiber* atau serat deterjen asam (% berat kering)
- b) W_1 = berat krus kosong sebelum perlakuan (g)
- c) W_2 = berat krus + residu setelah perlakuan larutan ADS dan pengeringan (g)
- d) S = berat sampel awal (g)



$$\text{ADF (\%)} = \frac{(W_2 - W_1)}{S} \times 100$$

Keterangan :

- a) ADF = *Acid Detergent Fiber* atau serat deterjen asam (% berat kering)
- b) W_1 = berat krus kosong sebelum perlakuan (g)
- c) W_2 = berat krus + residu setelah perlakuan larutan ADS dan pengeringan (g)
- d) S = berat sampel awal (g)

B. Analisis ADL (*Acid Detergent Lignin*)

1. Residu ADF yang telah kering direndam dalam H_2SO_4 72% selama 3 jam pada suhu ruang sambil sesekali diaduk.
2. Residu disaring dan dicuci dengan air panas hingga bebas asam (pH netral).
3. Residu dikeringkan pada suhu 105°C hingga berat konstan (W_3).

4. Residu kemudian diabukan dalam tanur pada suhu 550°C selama 3 jam, lalu ditimbang (W_4).
5. Kandungan ADL dihitung dengan rumus:

$$\text{ADL (\%)} = \frac{(W_3 - W_4)}{s} \times 100\%$$

Keterangan:

- a) ADL = *Acid Detergent Lignin* atau kandungan lignin (% berat kering)
- b) W_3 = berat krus + residu setelah perlakuan H_2SO_4 72% dan pengeringan (g)
- c) W_4 = berat krus + residu setelah pengabuan dalam tanur (g)
- d) S = berat sampel awal (g)

C. Estimasi Kandungan Selulosa

Kandungan selulosa diestimasi dari selisih ADF dan ADL:

$$\text{Selulosa (\%)} = \text{ADF (\%)} - \text{ADL (\%)}$$

Keterangan:

- a) Selulosa = estimasi kandungan selulosa (% berat kering)
- b) ADF = *Acid Detergent Fiber* (% berat kering)
- c) ADL = *Acid Detergent Lignin* (% berat kering)

Ekstraksi Selulosa

Ekstraksi selulosa dilakukan dengan dua metode, yaitu metode alkali soda-antrakinon/soda-AQ (Holton, 1977; Rodríguez *et al.*, 2010) dan metode acetosolv (Nimz *et al.*, 1986; Wanrosli *et al.*, 2011)

A. Ekstraksi Metode Alkali (Soda-AQ)

1. *Chip* empulur batang Gwang kering sebanyak 1000 g dimasukkan ke dalam reaktor/digester.
2. Ditambahkan larutan NaOH dengan konsentrasi 20%, (terhadap berat kering bahan) dan antrakinon (AQ) 0,5% (terhadap berat kering bahan).
3. Rasio cairan terhadap padatan diatur pada 1:5 (W/V).
4. Reaktor dipanaskan hingga suhu 140°C dan dipertahankan selama 120 menit.
5. Setelah proses selesai, reaktor didinginkan hingga suhu ruang.
6. *Pulp* dipisahkan dari lindi hitam (*black liquor*) dengan penyaringan.
7. *Pulp* dicuci berulang kali dengan aquades hingga pH netral.
8. *Pulp* diperas untuk menghilangkan air berlebih dan disimpan dalam keadaan lembab untuk proses selanjutnya.
9. *Pulp* dikeringkan pada suhu 105°C hingga berat konstan untuk penentuan rendemen.

B. Ekstraksi Metode Acetosolv

1. *Chip* empulur batang Gwang kering sebanyak 1000g dimasukkan ke dalam reaktor/digester.

2. Ditambahkan larutan asam asetat 75% (AcOH) dengan katalis 0,5% asam klorid HCl.
3. Rasio cairan terhadap padatan diatur pada 1:5 (w/v).
4. Reaktor dipanaskan hingga suhu 140°C dan dipertahankan selama 120 menit.
5. Setelah proses selesai, reaktor didinginkan hingga suhu ruang.
6. *Pulp* dipisahkan dari *spent liquor* dengan penyaringan.
7. *Pulp* dicuci berulang kali dengan aquades hingga pH netral dan bebas bau asam asetat.
8. *Pulp* diperas untuk menghilangkan air berlebih dan disimpan dalam keadaan lembab untuk proses selanjutnya.

***Bleaching* (Pemutihan)**

Pulp hasil ekstraksi dari masing-masing metode selanjutnya diputihkan menggunakan dua jenis agen *bleaching*.

A. *Bleaching* dengan Hidrogen Peroksida (H₂O₂)

1. *Pulp* basah dengan konsistensi 10% dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas.
2. Rasio cairan terhadap padatan diatur pada 1:5 (w/v).
3. Ditambahkan larutan H₂O₂ 2% (terhadap berat kering pulp).
4. Ditambahkan NaOH untuk mengatur pH larutan menjadi 10–12.
5. Ditambahkan Na₂SiO₃ 3% sebagai stabilisator dan MgSO₄ 0,0016%.

6. Campuran dimasukkan ke dalam *water bath* dan dipanaskan pada suhu 70–80°C selama 60–90 menit dengan pengadukan berkala setiap 15 menit agar pencampuran larutan dan *pulp* optimal.
7. *Pulp* disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral.
8. *Pulp* dikeringkan pada suhu 105°C hingga berat konstan (Zhang *et al.*, 2021).

B. *Bleaching* dengan Natrium Hipoklorit (NaOCl)

1. *Pulp* basah dengan konsistensi 10% dimasukkan ke dalam kantong plastik tahan panas.
2. Rasio cairan terhadap padatan diatur pada 1:5 (w/v).
3. Ditambahkan larutan NaOCl dengan konsentrasi 10% (terhadap berat kering *pulp*).
4. Campuran dimasukkan ke dalam *water bath* dan dipanaskan pada suhu 70–80°C selama 60–90 menit dengan pengadukan berkala setiap 15 menit agar pencampuran larutan dan *pulp* optimal.
5. *Pulp* disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral dan bebas bau klorin.
6. *Pulp* dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C hingga berat konstan.

Analisis Morfologi Serat

Analisis morfologi serat dilakukan pada *pulp* hasil *bleaching* menggunakan metode mikroskop proyektor. Parameter yang diukur meliputi panjang serat.

A. Pengukuran Panjang Serat

1. Suspensi *pulp* disiapkan dengan konsentrasi sangat encer (di bawah 0,05% massa/volume) dalam aquades.
2. Suspensi ditetaskan sebanyak 1–2 tetes di atas kaca object dan disebarakan secara merata.

3. Sampel diamati di bawah mikroskop proyektor.
4. Setiap serat yang melintasi garis kisi yang telah dikalibrasi diukur panjangnya.
5. Pengukuran dilakukan pada minimal 100–200 serat untuk setiap sampel.
6. Panjang rata-rata tertimbang (weighted average length) dihitung menggunakan rumus:
4. menggunakan rumus:

$$\text{Panjang Rata-Rata Tertimbang} = \frac{\sum (n_i \cdot L_i^2)}{\sum (n_i \cdot L_i)}$$

Keterangan:

- a) n_i = jumlah serat yang diukur pada interval panjang tertentu
- b) L_i = panjang rata-rata interval (mm)
- c) $\sum (n_i \cdot L_i)$ = panjang total semua serat yang diukur
- d) $\sum (n_i \cdot L_i^2)$ = jumlah total kuadrat panjang serat

Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif komparatif dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik. Perbandingan antar perlakuan didukung oleh kajian literatur dan mekanisme reaksi kimia yang relevan. Rendemen ekstraksi dan *bleaching* dihitung berdasarkan perbandingan berat kering produk terhadap berat kering bahan awal. Karena setiap kombinasi perlakuan ekstraksi dan *bleaching* dilakukan tanpa ulangan, analisis statistik inferensial untuk parameter rendemen tidak dapat dilakukan.

Kecerahan selulosa diukur menggunakan *digital image analysis* (ImageJ.JS) dan dinyatakan sebagai nilai L^* (CIELAB) dengan rumus L^*

= $(Mean\ gray\ value/255) \times 100$. Pengukuran dilakukan pada lima titik per sampel. Perbedaan kecerahan antar perlakuan diuji menggunakan *One-Way ANOVA* ($\alpha = 0,05$) dengan uji lanjut Bonferroni dengan menggunakan *software Microsoft Excel*. Panjang serat diukur pada minimal 100 serat per sampel dan dihitung sebagai panjang rata-rata tertimbang sesuai prosedur pada Subbab 3.3.5. Neraca massa estimatif disusun berdasarkan data rendemen, komposisi ADF–ADL, dan data kandungan pati dari literatur untuk menggambarkan distribusi massa selama proses ekstraksi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Selulosa dan Lignin Empulur Batang Gwang

Tabel 4.1 Kandungan Selulosa Dan Lignin Empulur Batang Gwang Berdasarkan Analisis ADF

Komponen	Kandungan (%)
Selulosa	$10,25 \pm 0,01$
Lignin	$1,02 \pm 0,05$

Sumber: (Data Primer, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.1, rata-rata kandungan selulosa residu sebesar 10,25% dengan rentang nilai yang sempit menunjukkan bahwa hasil pengukuran antarulangan relatif konsisten. Meskipun demikian, nilai ini tampak rendah apabila dibandingkan dengan komposisi pelepah Gwang yang dilaporkan memiliki selulosa sekitar 46,05% (Achmad, 2016) maupun biomassa palma non-kayu lain yang umumnya mengandung selulosa 30–50% dan lignin 15–30% (Sun *et al.*, 2004). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa empulur batang Gwang memiliki karakter komposisi yang berbeda dibandingkan bagian tanaman yang lebih bersifat struktural. Rendahnya kandungan selulosa residu ini dapat dijelaskan dari sisi metode analisis dan anatomi bahan. Dalam metode ADF–ADL, sampel mengalami perlakuan deterjen asam dan hidrolisis dengan asam sulfat pekat, sehingga fraksi selulosa yang berada pada daerah amorf sehingga kurang stabil berpotensi terdepolimerisasi dan larut selama proses analisis (Sluiter *et al.*, 2010). Javier-

Astete *et al.*, (2021) juga menunjukkan bahwa variasi kecil pada kondisi hidrolisis asam dapat menyebabkan sebagian selulosa terurai menjadi gula larut dan tidak lagi terukur sebagai residu padatan.

Selain itu, dominasi pati sebagai karbohidrat non-struktural merupakan faktor penting yang menjelaskan rendahnya selulosa residu. Data kandungan gizi empulur Gewang menunjukkan bahwa fraksi karbohidrat total mencapai sekitar 84,63 g per 100 g bahan, dengan pati sebagai komponen utama sebesar sekitar 67,00 g per 100 g, yang tersusun atas amilosa dan amilopektin dalam proporsi tinggi (Balai Penelitian Tanaman Kelapa dan Palma Lain, 2015; Ndun *et al.*, 2017). Kandungan pati yang sangat besar ini menegaskan bahwa sebagian besar unit glukosa pada empulur batang Gewang tersimpan sebagai pati di jaringan parenkim, bukan sebagai selulosa struktural pada dinding sel. Dalam analisis ADF–ADL, pati dan karbohidrat non-struktural lainnya akan terlarut dan terbuang pada tahap awal perlakuan deterjen asam, sehingga tidak terhitung sebagai fraksi serat. Oleh karena itu, pada biomassa yang berfungsi sebagai organ penyimpanan pati, nilai selulosa residu yang terukur memang cenderung lebih rendah.

Kandungan lignin residu yang diperoleh sebesar 1,02% juga jauh lebih rendah dibandingkan kisaran lignin biomassa lignoselulosa pada umumnya, yang rata-rata berada pada rentang sekitar 13–30% dari bobot kering (Segers *et al.*, 2024; Saurabh *et al.*, 2020; Selo *et al.*, 2021). Nilai ini menunjukkan bahwa lignin yang terukur melalui ADL merupakan fraksi lignin yang paling resisten terhadap perlakuan deterjen asam dan asam sulfat, bukan lignin total dalam empulur batang Gewang. Sluiter *et al.*, (2010) menjelaskan bahwa metode deterjen asam cenderung menghasilkan nilai lignin yang lebih rendah dibandingkan metode Klason, karena sebagian lignin yang kurang terkondensasi dapat terhidrolisis dan larut selama proses analisis. Sejumlah studi menunjukkan bahwa metode acetyl bromide

cenderung melarutkan fraksi lignin yang lebih luas dibandingkan pendekatan berbasis ADF–ADL, sehingga nilai lignin yang diperoleh umumnya lebih tinggi daripada lignin deterjen klasik Van Soest *et al.* (1991) dan hasil perhitungan lignin struktural menurut Sluiter *et al.* (2011). Dengan demikian, lignin 1,02% pada Tabel 4.1 lebih tepat dipahami sebagai lignin residu yang paling stabil secara kimia, bukan sebagai gambaran langsung lignin total dalam batang Gwang.

Analisis Hasil Ekstraksi Selulosa Empulur Batang Gwang

Tabel 4.2 Hasil Ekstraksi Selulosa Batang Gwang

Metode Ekstraksi	Kondisi Proses Utama	Berat Awal (g)	Rendemen (%)
Alkali	20% NaOH, 0,5% AQ, 140 °C, rasio 1:5, 120 menit	1000	12,7
Acetosolv	75% CH ₃ COOH, 0,5% HCl, 140 °C, rasio 1:5, 120 menit	1000	3,2

Tabel 4.2. menunjukkan bahwa metode ekstraksi memberikan pengaruh nyata terhadap rendemen selulosa yang diperoleh. Pada kondisi proses yang digunakan dalam penelitian ini, metode alkali menghasilkan rendemen selulosa sebesar 12,7%, sedangkan metode acetosolv menghasilkan rendemen sebesar 3,2%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis medium kimia (basa kuat dibandingkan pelarut organik asam) dan mekanisme reaksi selama pemasakan sangat menentukan jumlah selulosa yang dapat dilepaskan dari matriks lignoselulosa, sebagaimana secara umum dilaporkan pada kajian *pulping* biomassa non-kayu (Sun *et al.*, 2004). Secara konseptual, metode alkali memiliki keunggulan untuk biomassa non-kayu karena larutan NaOH menyebabkan pembengkakan serat, meningkatkan porositas dinding sel, dan membantu pemutusan ikatan lignin–karbohidrat (lignin–carbohydrate complex, LCC), sehingga fraksi selulosa struktural menjadi lebih

mudah terlepas dari matriks dinding sel (Rodríguez *et al.*, 2010). Kondisi ini konsisten dengan hasil pada empulur batang Gewang, di mana rendemen selulosa hasil ekstraksi alkali relatif lebih tinggi meskipun kandungan selulosa residu awal hanya sekitar 10,25%, sehingga proses alkali dapat dipandang mampu memobilisasi sebagian besar fraksi selulosa yang tersisa setelah perlakuan awal.

Metode acetosolv pada penelitian ini menghasilkan rendemen selulosa yang jauh lebih rendah, yang mengindikasikan bahwa pada kombinasi suhu, waktu, konsentrasi asam asetat, dan katalis HCl yang digunakan, pelepasan selulosa dari matriks lignoselulosa belum berlangsung secara optimal. Sistem organosolv berbasis asam asetat secara umum bersifat lebih selektif terhadap lignin, tetapi tidak selalu menghasilkan pembengkakan dinding sel yang signifikan, sehingga efektivitas pelepasan selulosa sangat bergantung pada kemampuan pelarut menembus jaringan dan pada ketebalan dinding sel bahan baku (Wan Rosli *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2004). Pada empulur batang Gewang yang didominasi jaringan parenkim penyimpan pati, kondisi ini dapat menyebabkan sebagian selulosa tetap tertahan dalam matriks, sehingga tercermin pada rendemen acetosolv yang rendah.

Analisis Mekanisme Ekstraksi Alkali dan Acetosolv

Pada metode alkali, NaOH dalam konsentrasi tinggi berdifusi ke dalam dinding sel dan menyebabkan pembengkakan serat melalui pemutusan ikatan hidrogen antar komponen dinding sel, sehingga porositas struktur meningkat dan akses larutan ke bagian internal jaringan menjadi lebih besar (Rodríguez *et al.*, 2010). Kondisi ini mempermudah pelepasan hemiselulosa dan lignin serta

membuka akses yang lebih luas untuk pemutusan ikatan lignin–karbohidrat secara bertahap (Sun *et al.*, 2004).

Penambahan anthraquinone (AQ) dalam sistem alkali berperan sebagai katalis redoks yang meningkatkan selektivitas delignifikasi dan membantu menekan degradasi selulosa selama pemasakan (Rodríguez *et al.*, 2010). Dalam konteks empulur batang Gewang, kombinasi pembengkakan serat oleh NaOH dan peran AQ tersebut mendukung pelepasan fraksi selulosa residu yang terbatas tanpa kehilangan selulosa yang berlebihan akibat depolimerisasi, sebagaimana tercermin pada rendemen selulosa sebesar 12,7%.

Sebaliknya, pada metode acetosolv, campuran asam asetat dan air dengan katalis HCl bekerja melalui mekanisme solvolisis lignin, di mana ikatan-ikatan lignin terputus dan fragmen lignin larut ke dalam fase cair (Wan Rosli *et al.*, 2011; Vázquez *et al.*, 2004). Namun, karena medium reaksi bersifat asam dan tidak menghasilkan pembengkakan serat sekuat larutan basa, struktur dinding sel cenderung tetap lebih rapat, sehingga penetrasi pelarut ke lapisan dinding sel yang lebih dalam menjadi terbatas, terutama pada biomassa dengan jaringan yang padat (Sun *et al.*, 2004). Selain itu, pada sistem organosolv berbasis asam kuat dilaporkan bahwa fragmen lignin yang terlarut dapat mengalami kondensasi kembali dan mengendap pada permukaan serat, sehingga membentuk lapisan penghalang baru yang mengurangi akses pelarut ke selulosa (Vázquez *et al.*, 2004). Fenomena ini berpotensi menjelaskan mengapa, meskipun lignin terlarut, pelepasan selulosa tidak selalu sebanding dengan derajat delignifikasi, khususnya pada biomassa non-kayu dengan anatomi yang kompleks seperti residu palma (Sun *et al.*, 2004; Wan Rosli *et al.*, 2011). Dengan demikian, perbedaan rendemen antara metode alkali dan acetosolv pada empulur batang Gewang dapat dipahami sebagai konsekuensi dari perbedaan tingkat pembengkakan serat, mekanisme delignifikasi, dan potensi terbentuknya hambatan difusi pada sistem organosolv (Sun *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2010; Wan Rosli *et al.*, 2011).

Neraca Massa Estimatif Proses Ekstraksi

Untuk memahami distribusi komponen bahan baku selama proses ekstraksi secara lebih kuantitatif, disusun neraca massa estimatif berdasarkan data komposisi awal empulur batang Gewang dan rendemen *pulp* yang diperoleh dari masing-masing metode. Pendekatan ini bertujuan menjelaskan arah komponen-komponen utama bahan baku terdistribusi selama proses pemasakan, sehingga perbedaan rendemen antara metode alkali dan acetosolv dapat dipahami dalam konteks karakter biologis bahan.

Tabel 4.3 Neraca Massa Estimatif Proses Ekstraksi Selulosa Empulur

Batang Gewang

Panel A. Estimasi Komponen Awal Bahan Baku

Komponen	Estimasi (g)	Proporsi (%)	Sumber Data
Pati	~670	~67,0	Ndun <i>et al.</i> , 2017
Selulosa (ADF)	~102,5	~10,25	Tabel 4.1
Lignin (ADL)	~10,2	~1,02	Tabel 4.1
Fraksi lain (hemiselulosa, abu, protein, air, ekstraktif)	~217,3	~21,73	Selisih perhitungan
Total berat awal	1000	100	

Panel B. Distribusi Massa Setelah Ekstraksi

Parameter	Metode Alkali	Metode Acetosolv
Berat <i>pulp</i> diperoleh (g)	127	32
Komponen terlarut dalam <i>liquor</i> (g)	~873	~968
Kehilangan massa (%)	87,3	96,8

Sumber: Data Primer, 2025

Berdasarkan Tabel 4.3, kehilangan massa yang sangat besar pada kedua metode ekstraksi—87,3% pada alkali dan 96,8% pada acetosolv—dapat dijelaskan oleh dominasi pati sebagai komponen utama empulur batang Gewang. Dari 1000 g bahan awal, sekitar 670 g diperkirakan berupa pati yang bersifat larut dalam air

panas dan terdegradasi selama proses pemasakan pada suhu tinggi (140–170°C), sehingga sebagian besar massa bahan baku larut ke dalam fase cair (*black liquor* pada metode alkali atau *brown liquor* pada metode acetosolv) bersama hemiselulosa, lignin, dan komponen nonstruktural lainnya (Sluiter *et al.*, 2010; Ndun *et al.*, 2017). Fraksi pati yang sangat besar ini menjadi faktor penentu utama tingginya kehilangan massa, karena pati tidak berkontribusi terhadap rendemen *pulp* yang diukur sebagai residu padatan setelah pemasakan.

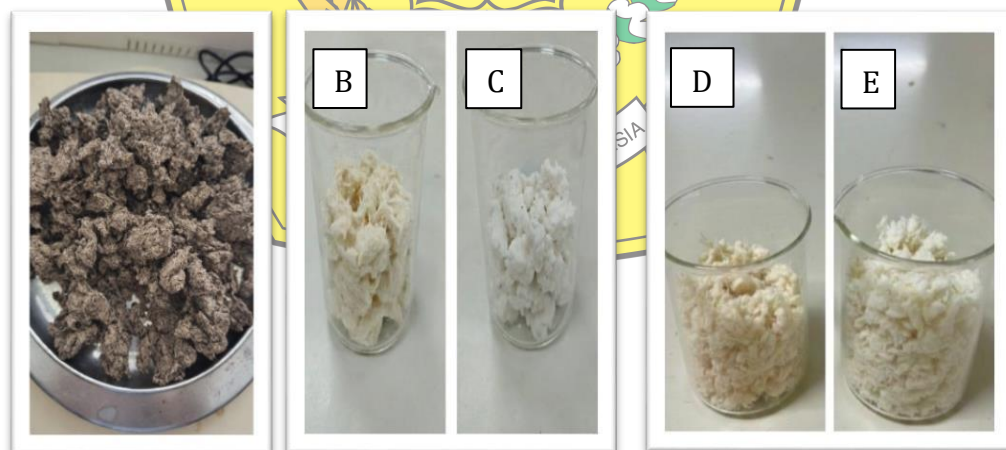
Selisih kehilangan massa antara metode alkali (87,3%) dan acetosolv (96,8%) sebesar 9,5 poin persentase mengindikasikan bahwa proses alkali lebih efektif dalam mempertahankan fraksi padatan, khususnya selulosa struktural, dibandingkan acetosolv. Perbedaan ini konsisten dengan mekanisme pembengkakan serat oleh NaOH yang meningkatkan aksesibilitas reagen ke dalam dinding sel sekaligus mempertahankan integritas serat selulosa yang lebih kristalin selama pemasakan (Rodríguez *et al.*, 2010). Sebaliknya, pada sistem acetosolv, medium reaksi yang bersifat asam berpotensi menyebabkan hidrolisis sebagian selulosa yang kurang kristalin, sehingga fraksi selulosa yang ikut terlarut bersama lignin dan hemiselulosa menjadi lebih besar dan kehilangan massa total menjadi lebih tinggi (Sun *et al.*, 2004; Wan Rosli *et al.*, 2011).

Neraca massa ini juga menunjukkan bahwa rendemen *pulp* sebesar 12,7% pada metode alkali (127 g) sedikit melebihi estimasi selulosa ADF awal (102,5 g), yang mengindikasikan bahwa *pulp* yang diperoleh bukan merupakan selulosa murni, melainkan masih mengandung fraksi hemiselulosa residu, lignin sisa, dan komponen lain yang tidak sepenuhnya terlarut selama proses pemasakan. Fenomena ini umum dijumpai pada proses *pulping*, di mana rendemen *pulp* selalu lebih tinggi dari kandungan selulosa murni karena *pulp* secara definisi merupakan fraksi padatan residual yang terdiri dari campuran selulosa, hemiselulosa residu, dan lignin residu (Sun *et al.*, 2004). Sebaliknya, pada metode acetosolv, rendemen *pulp* yang hanya 32 g—jauh di bawah estimasi selulosa ADF awal (102,5 g)—menunjukkan bahwa sebagian besar fraksi selulosa struktural belum berhasil dipertahankan dan ikut terlarut atau terdegradasi selama proses pemasakan dalam medium asam.

Dengan demikian, neraca massa estimatif ini menegaskan bahwa rendemen yang rendah pada kedua metode merupakan cerminan dari karakter biologis empulur batang Gewang sebagai organ penyimpan pati dengan fraksi selulosa struktural yang terbatas, bukan semata-mata karena inefisiensi proses ekstraksi. Informasi ini penting sebagai dasar pertimbangan apabila empulur batang Gewang akan dimanfaatkan sebagai sumber selulosa alternatif, karena potensi maksimum rendemen secara alami dibatasi oleh komposisi kimia bahan baku. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi pemanfaatan fraksi *liquor* yang mengandung pati dan gula terlarut sebagai ko-produk bernilai tambah dalam konsep *biorefinery* terintegrasi, sehingga keseluruhan biomassa empulur batang Gewang dapat dimanfaatkan secara lebih efisien.

Pengaruh Jenis Agen *Bleaching* dan Metode Ekstraksi terhadap Kecerahan (L^*)

Perubahan penampakan selulosa empulur batang Gewang sebelum dan sesudah *bleaching* ditunjukkan pada Gambar 4.1. Secara visual, terdapat perubahan warna yang jelas dari coklat tua menjadi krem kekuningan hingga putih setelah perlakuan *bleaching*. Pengukuran kecerahan dilakukan menggunakan metode



Gambar 4. 1 Tampak *Yield* Sebelum dan Sesudah Proses *Bleaching*; A) *Yield* Sebelum *Bleaching*, B) Acetosolv + H_2O_2 , C) Acetosolv + $NaOCl$, D) Alkali + H_2O_2 , E) Alkali + $NaOCl$

digital image *analysis* dengan perangkat lunak ImageJ.JS berdasarkan sistem warna CIELAB yang dinyatakan sebagai nilai L^* (0 = hitam, 100 = putih sempurna). Setiap sampel diukur pada lima titik pengukuran yang berbeda, kemudian dihitung rata-rata dan standar deviasinya.

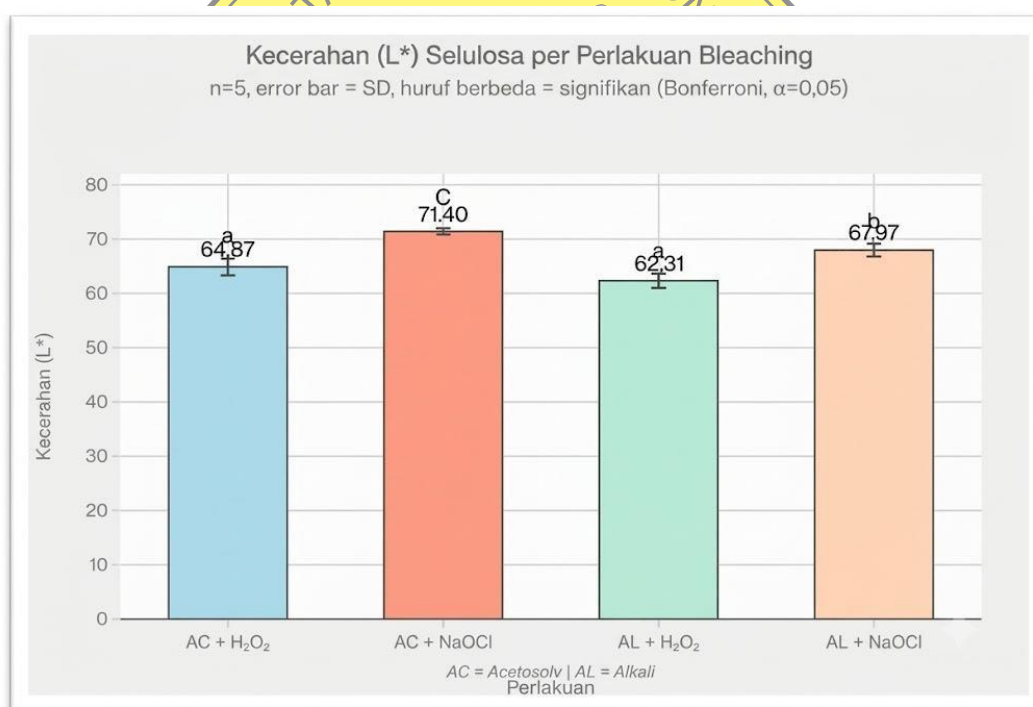
Sebagai pembandingan, sampel sebelum *bleaching* memiliki nilai L^* sebesar

27,19 ± 4,28, yang menggambarkan warna *pulp* yang masih sangat gelap dan cenderung cokelat tua. Nilai L^* yang rendah ini mencerminkan masih tingginya kandungan lignin residual dan senyawa ekstraktif berwarna pada permukaan serat selulosa. Nilai kecerahan keempat kombinasi perlakuan *bleaching* disajikan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.5 Nilai Kecerahan (L^*) Selulosa Empulur Batang Gwang per Perlakuan *Bleaching*

Perlakuan	Rata-rata L^*	SD	Notasi
Acetosolv + H_2O_2	64,87	1,58	a
Acetosolv + NaOCl	71,40	0,60	c
Alkali + H_2O_2	62,31	1,32	a
Alkali + NaOCl	67,97	1,18	b

Sumber: (Data Primer, 2025)



Gambar 4. 2 Nilai Kecerahan (L^*) Selulosa Empulur Batang Gwang

Keterangan: Huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan berdasarkan uji Bonferroni ($\alpha = 0,05$). Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$).

Kombinasi acetosolv + NaOCl menghasilkan kecerahan tertinggi sebesar 71,40 ± 0,60. NaOCl bekerja melalui mekanisme klorinasi dan oksidasi terhadap struktur lignin, di mana ion hipoklorit (OCl^-) mampu memutus ikatan C–C dan ikatan eter pada rantai samping lignin serta mengoksidasi gugus aldehyd menjadi

asam karboksilat yang mudah larut, sehingga kromofor lignin terdegradasi lebih tuntas (Khan *et al.*, 2024; Amrillah *et al.*, 2024). Standar deviasi yang sangat kecil (0,60) mengindikasikan pemutihan yang sangat merata pada seluruh permukaan serat.

Kombinasi alkali + NaOCl menghasilkan L^* sebesar $67,97 \pm 1,18$. Meskipun lebih rendah dari acetosolv + NaOCl, kombinasi ini tetap memberikan pemutihan yang baik. Perbedaan kecerahan antara kedua metode ekstraksi pada agen *bleaching* NaOCl yang sama kemungkinan berkaitan dengan perbedaan struktur lignin residual — *pulp* acetosolv yang diekstraksi dalam medium asam cenderung mempertahankan struktur selulosa yang lebih kristalin dengan sisa lignin yang berbeda karakternya dibandingkan *pulp* alkali, sehingga respons terhadap *bleaching* NaOCl pun berbeda.

Kombinasi acetosolv + H_2O_2 menghasilkan L^* sebesar $64,87 \pm 1,58$. H_2O_2 bekerja lebih selektif melalui pembentukan ion perhidroksil (HOO^-) dalam kondisi basa yang menyerang gugus kromofor pada lignin tanpa terlalu mendegradasi rantai selulosa. Kombinasi alkali + H_2O_2 menghasilkan kecerahan terendah yaitu $62,31 \pm 1,32$, namun nilainya tetap sangat tinggi dibandingkan kondisi sebelum *bleaching* (27,19).

Analisis Statistik Kecerahan (L^*)

Untuk menguji apakah perbedaan nilai kecerahan (L^*) antar keempat perlakuan *bleaching* bermakna secara statistik, dilakukan uji analisis ragam satu arah (One-Way ANOVA) pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Data "Sebelum *Bleaching*" tidak dimasukkan dalam analisis ANOVA karena bukan merupakan perlakuan melainkan kondisi awal (*baseline*) yang berfungsi sebagai pembanding deskriptif.

Tabel 4.6 Hasil Uji One-Way ANOVA Nilai Kecerahan (L^*)

Sumber Keragaman	SS	df	MS	F-hitung	F-tabel	P-value
Antar Perlakuan	231,21	3	77,07	51,34	3,24	< 0,001
Dalam Perlakuan	24,02	16	1,50			
Total	255,23	19				

Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai F-hitung sebesar 51,34 yang jauh lebih besar dari F-tabel sebesar 3,24 ($df_1 = 3$; $df_2 = 16$; $\alpha = 0,05$) dengan nilai $p < 0,001$. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang nyata dan sangat signifikan pada nilai kecerahan (L^*) di antara keempat perlakuan *bleaching*, sehingga hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa jenis agen *bleaching* dan metode ekstraksi berpengaruh terhadap kecerahan *pulp* Gwang diterima.

Nilai F-hitung sebesar 51,34 yang diperoleh pada analisis 4 kelompok perlakuan ini lebih informatif dibandingkan jika data baseline diikutsertakan, karena nilai F yang diperoleh murni mencerminkan variasi kecerahan akibat perbedaan kombinasi perlakuan *bleaching*, bukan didominasi oleh perbedaan ekstrem antara kondisi belum diputihkan dengan kondisi setelah diputihkan.

Uji lanjut post-hoc Bonferroni dilakukan untuk mengidentifikasi pasangan perlakuan mana yang berbeda secara signifikan. Koreksi Bonferroni diterapkan dengan mengalikan *p-value* masing-masing pasangan dengan jumlah total perbandingan (6 pasangan), sehingga risiko kesalahan tipe I dapat dikendalikan.

Tabel 4.7 Hasil Uji Post-Hoc Bonferroni Nilai Keccerahan (L^*)

No	Pasangan	t-hitung	p-Bonferroni	Keputusan
1	AC + H ₂ O ₂ vs AC + NaOCl	8,625	$< 0,001$	Signifikan *
2	AC + H ₂ O ₂ vs AL + H ₂ O ₂	2,777	0,144	Tidak Signifikan
3	AC + H ₂ O ₂ vs AL + NaOCl	3,505	0,048	Signifikan *
4	AC + NaOCl vs AL + H ₂ O ₂	14,003	$< 0,001$	Signifikan *
5	AC + NaOCl vs AL + NaOCl	5,778	0,003	Signifikan *
6	AL + H ₂ O ₂ vs AL + NaOCl	7,133	$< 0,001$	Signifikan *

Sumber: (Data Primer, 2025)

Dari 6 pasangan yang diuji, 5 pasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$). Acetosolv + NaOCl berbeda nyata terhadap seluruh perlakuan lain, yang mengkonfirmasi posisinya sebagai kombinasi dengan kecerahan tertinggi

(notasi "c"). Alkali + NaOCl juga berbeda nyata dari kedua perlakuan H_2O_2 , menempati posisi kedua (notasi "b").

Satu-satunya pasangan yang tidak menunjukkan perbedaan signifikan adalah acetosolv + H_2O_2 vs alkali + H_2O_2 ($p = 0,144$). Temuan ini menunjukkan bahwa *bleaching* dengan H_2O_2 menghasilkan kecerahan yang relatif setara terlepas dari metode ekstraksi yang digunakan (acetosolv maupun alkali). Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme kerja H_2O_2 yang selektif terhadap gugus kromofor lignin memberikan hasil akhir yang konsisten, tidak terlalu dipengaruhi

Trade-off Kecerahan versus Rendemen

Tabel 4.8 Perbandingan Kecerahan dan Rendemen

Perlakuan	L^*	Rendemen (%)	Karakteristik
AC + H_2O_2	64,87 (a)	54,7	Keseimbangan terbaik
AL + H_2O_2	62,31 (a)	54,0	Rendemen tinggi
AC + NaOCl	71,40 (c)	49,6	Kecerahan tertinggi
AL + NaOCl	67,97 (b)	38,3	Kehilangan massa terbesar

Sumber: (Data Primer, 2025)

Terdapat *trade-off* yang jelas antara efisiensi massa dan kemampuan pemutihan. Kombinasi acetosolv + H_2O_2 memberikan keseimbangan yang paling baik antara kecerahan ($L^* = 64,87$) dan efisiensi massa (rendemen 54,7%), sehingga dapat menjadi pilihan untuk aplikasi yang mengutamakan efisiensi proses. Kombinasi alkali + H_2O_2 juga menunjukkan karakteristik serupa dengan keunggulan dari aspek keberlanjutan lingkungan karena H_2O_2 terurai menjadi air dan oksigen.

Sebaliknya, kombinasi acetosolv + NaOCl menghasilkan kecerahan tertinggi namun dengan rendemen lebih rendah (49,6%), sedangkan kombinasi alkali + NaOCl menunjukkan konsekuensi paling besar dengan penurunan rendemen hingga 38,3%. Untuk skala produksi yang mempertimbangkan efisiensi massa, penggunaan NaOCl perlu didahului dengan optimasi kondisi reaksi agar degradasi selulosa dapat diminimalkan (Amrillah *et al.*, 2024).

Proses *bleaching* dalam penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, kondisi *bleaching* belum dioptimasi secara sistematis karena hanya satu

kombinasi kondisi yang diuji per perlakuan. Kedua, pengukuran kecerahan dilakukan secara tidak langsung melalui *digital image analysis* menggunakan konversi $L^* = (Mean/255) \times 100$, sehingga nilai yang diperoleh merupakan pendekatan dan dapat berbeda dari pengukuran kolorimetri langsung. Ketiga, belum tersedia data sifat mekanik *pulp* pasca-*bleaching* maupun analisis struktur kimia (*FTIR*, *SEM*), sehingga efek *bleaching* terhadap struktur kristal dan sifat fisikokimia selulosa belum dapat dijelaskan secara menyeluruh (Khan *et al.*, 2024).

Sifat Fisik Serat Empulur Batang Gwang

Pengukuran panjang serat dilakukan pada suspensi selulosa empulur batang Gwang yang telah dihomogenisasi menggunakan *homoginizer* lalu dihitung menggunakan mikroskop cahaya yang dilengkapi *eyepiece reticle* (skala okuler) dengan rentang 0–100 divisi. Sebelum pengukuran, skala okuler dikalibrasi menggunakan *stage micrometer* 1 mm yang terbagi menjadi 100 garis, sehingga diperoleh faktor konversi 100 divisi *reticle* = 1 mm atau 1 divisi = 0,01 mm. Proses kalibrasi ini penting untuk memastikan bahwa nilai panjang serat yang tercatat sesuai dengan panjang sebenarnya (Foelkel, 2006; Foelkel, 2010).

Suspensi selulosa disiapkan dengan melarutkan 0,1 g selulosa empulur batang Gwang dalam 100 ml air dan dihomogenisasi hingga serat terdispersi merata. Sebanyak 5 ulangan dilakukan, dan pada setiap ulangan diukur 60 serat yang tampak jelas, utuh, dan relatif lurus di bidang pandang mikroskop, sehingga total serat yang terukur panjangnya berjumlah 300 serat. Jumlah ini telah memenuhi rekomendasi pengukuran manual morfologi serat yang menyarankan minimal 100–200 serat untuk karakterisasi awal (Foelkel, 2006). Hasil pengukuran panjang serat disajikan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Pengukuran Panjang Serat Selulosa Empulur Batang Gwang

Ulangan	Panjang Serat Per-Ulangan (mm)	Total Panjang Serat (mm)	Panjang rata-rata (L^*)
1	31,93	159,35	0,53± 0,24
2	33,25		
3	30,75		
4	33,25		
5	30,8		

Sumber : (Data Primer, 2025)

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.9, jumlah seluruh panjang 300 serat adalah 159,35 mm, sehingga panjang serat rata-rata ($\bar{L}$) dihitung sebagai berikut:

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{n} = \frac{159,35 \text{ mm}}{300} = 0,531 \approx 0,53 \text{ mm}$$

Rentang panjang serat yang teramati berkisar dari 0,15 mm hingga 1,20 mm dengan simpangan baku 0,24 mm, yang mengindikasikan adanya heterogenitas dimensi serat di dalam sampel. Variasi ini dapat disebabkan oleh perbedaan posisi serat di dalam empulur batang, tingkat kematangan jaringan, serta proses pemasakan dan pengolahan mekanik selama preparasi yang berpotensi memutus serat menjadi fragmen lebih pendek (Nazhad, 2021). Perbandingan panjang serat selulosa empulur batang Gwang dengan berbagai bahan baku *pulp* lainnya disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Perbandingan Panjang Serat Empulur Batang Gwang Dengan Bahan Baku Lain

Bahan/Sumber	Kisaran Panjang Serat (mm)	Klasifikasi	Sumber
Batang Gwang (hasil penelitian)	0,15–1,20 (rata-rata 0,53)	Serat pendek	Data primer
Kayu keras (<i>hardwood</i>)	0,7–1,5	Serat pendek	Spanic <i>et al.</i> , 2015
Kayu lunak (<i>softwood</i>)	2–4	Serat panjang	Nazhad, 2021
Tandan kosong kelapa sawit	0,5–1,2	Serat pendek	Wan Rosli <i>et al.</i> , 2004
Ampas tebu	0,8–1,5	Serat pendek	Hurter & Byrd, 2013
Jerami padi	0,5–1,0	Serat pendek	Spanic <i>et al.</i> , 2015

Dengan panjang rata-rata 0,53 mm, serat selulosa empulur batang Gwang berada di batas bawah rentang serat pendek non-kayu dan jauh lebih pendek dibandingkan serat *softwood* komersial yang umumnya berkisar 2–4 mm (Spanic *et al.*, 2015; Nazhad, 2021). Karakter ini konsisten dengan sifat anatomis berbagai palma yang didominasi jaringan parenkim dan berkas pembuluh dengan elemen

serat relatif pendek (Hurter & Byrd, 2013). Panjang serat empulur batang Gewang juga sebanding dengan serat tandan kosong kelapa sawit (0,5–1,2 mm) yang berasal dari famili yang sama, yaitu *Arecaceae* (Wan Rosli *et al.*, 2004).

Distribusi panjang serat yang beragam memiliki implikasi penting pada pembentukan lembaran kertas. Serat yang relatif lebih panjang umumnya berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik dan sobek karena memberikan jembatan ikatan yang lebih panjang antar titik kontak, sedangkan fraksi serat pendek dan fines lebih berperan dalam menutup pori, memperbaiki formasi, dan meningkatkan kehalusan permukaan lembaran (Foelkel, 2006; Singh, 2018). Dengan dominasi serat pendek dan panjang rata-rata sekitar 0,53 mm, selulosa empulur batang Gewang secara teoritis lebih sesuai dimanfaatkan sebagai komponen campuran (*furnish blend*) atau bahan pengisi dalam sistem pulp multikomponen daripada sebagai satu-satunya sumber serat penguat (Nazhad, 2021).

Potensi Aplikasi Selulosa Empulur Batang Gewang

Dari sisi morfologi, selulosa empulur batang Gewang yang dihasilkan menunjukkan rata-rata panjang serat sekitar 0,53 mm dengan rentang dimensi yang cukup lebar. Nilai ini menempatkan serat Gewang ke dalam kelompok serat pendek dan masih sebanding dengan banyak bahan baku non-kayu lain seperti jerami sereal, bagas, dan beberapa jenis bambu yang umumnya memiliki panjang serat rata-rata sekitar 0,5–1,5 mm dan lebih pendek daripada serat softwood (Hurter *et al.*, 2013; Spanic *et al.*, 2015; Nazhad, 2021). Pola ini menunjukkan bahwa secara struktur, serat selulosa empulur Gewang lebih cocok diposisikan sebagai serat pendukung formasi dan pengisian struktur lembaran daripada sebagai sumber utama kekuatan tarik tinggi. Hubungan antara panjang serat, fraksi serat pendek, dan sifat kertas *non-wood* telah dibahas oleh beberapa peneliti yang menunjukkan bahwa kombinasi fraksi serat pendek dan panjang dapat dioptimasi untuk menyeimbangkan kekuatan dan kehalusan, sehingga selulosa Gewang berpotensi dimanfaatkan sebagai komponen campuran dengan *pulp* kayu atau *non-wood* lain untuk mendapatkan sifat kertas yang lebih seimbang (Foelkel, 2006; Singh, 2018; Nazhad, 2021). Walaupun demikian, indikasi bahwa serat Gewang memiliki massa relatif besar per satuan panjang dapat menjadi petunjuk bahwa serat ini berpotensi

memberikan kontribusi pada densitas dan kekompakan bahan komposit bila dipakai sebagai pengisi, misalnya pada papan komposit atau biokomposit termoplastik, seperti yang telah dilaporkan untuk berbagai serat *non-wood* lainnya (Irawan *et al.*, 2023).

Jika hasil ekstraksi, *bleaching*, dan sifat serat tersebut dilihat secara keseluruhan, selulosa empulur Gewang menunjukkan potensi sebagai salah satu sumber selulosa alternatif dari tanaman lokal yang belum banyak dimanfaatkan. Berbagai publikasi mengenai pemanfaatan selulosa *non-wood* menunjukkan bahwa selulosa ter-*bleaching* dari residu pertanian dan tanaman liar dapat dimodifikasi lebih lanjut menjadi turunan seperti karboksimetil selulosa, *nanofiber* selulosa, atau film komposit untuk aplikasi pengemasan, adsorben, maupun material biomedis sederhana (Tarigan *et al.*, 2025; Khouaja *et al.*, 2024). Dengan karakter serat yang relatif pendek dan rendemen selulosa yang terbatas, selulosa empulur batang Gewang dari penelitian ini secara teoritis lebih cocok diarahkan ke aplikasi sebagai bahan pengisi atau komponen dalam komposit berbasis matriks polimer, bahan film biopolimer, atau media adsorben, dibanding langsung dikembangkan sebagai *pulp* utama untuk kertas cetak berkekuatan tinggi. Hal ini sejalan dengan tren pemanfaatan *non-wood* di berbagai negara yang lebih menekankan diversifikasi produk berbasis selulosa daripada sekadar menggantikan *pulp* kayu dalam proses konvensional (Hurter *et al.*, 2013).

Dari sudut pandang masyarakat awam dan pemanfaatan lokal, pengembangan selulosa dari empulur Gewang membuka peluang pemanfaatan bagian tanaman yang selama ini kurang terpakai, sehingga dapat menambah nilai ekonomi komoditas Gewang dan mengurangi penumpukan limbah lignoselulosa di daerah tumbuhnya. Studi mengenai tanaman Gewang sebelumnya lebih banyak menyoroti pemanfaatan pati untuk pangan dan pemanfaatan daun atau bagian lain untuk kerajinan, sehingga eksplorasi empulur sebagai sumber selulosa dapat menjadi tambahan alternatif bagi masyarakat di sekitar habitat Gewang (Syamsidar *et al.*, 2022). Dengan pengolahan yang tepat, selulosa Gewang berpotensi diolah menjadi bahan kertas sederhana, pengisi papan komposit lokal, atau bahan baku turunan selulosa skala kecil yang mendukung produk rumah tangga ramah lingkungan, sehingga tidak hanya bernilai akademis tetapi juga relevan bagi pengembangan sumber daya lokal.

Walaupun demikian, perlu ditekankan bahwa implikasi dan potensi yang dibahas pada subbab ini masih bersifat dugaan awal yang didasarkan pada kombinasi data proses dan morfologi serat yang relatif terbatas. Penelitian ini belum melakukan karakterisasi struktural yang lebih rinci seperti analisis kristalinitas dengan *XRD*, gugus fungsi dengan *FTIR*, atau pengamatan morfologi permukaan dengan *SEM*, dan juga belum menguji sifat mekanik lembaran kertas atau komposit yang dibuat langsung dari selulosa empulur Gewang. Keterbatasan ini menyebabkan penilaian potensi masih banyak bertumpu pada perbandingan dengan literatur *non-wood* lain, sehingga diperlukan penelitian lanjutan yang lebih terarah untuk menguji performa selulosa Gewang pada aplikasi yang diusulkan, baik dalam bentuk *pulp* campuran, biokomposit, maupun bahan film dan adsorben berbasis selulosa (Nazhad, 2021; Leinonen, 2022).

III. PENUTUP

Kesimpulan

1. Karakter awal empulur batang Gewang menunjukkan bahwa kandungan selulosa residu sekitar 10,25 dan lignin residu sekitar 1,02 pada basis berat kering setelah perlakuan ADF-ADL, sehingga fraksi selulosa struktural yang tersisa tergolong rendah dan lignin yang terukur merupakan lignin residu yang paling resisten terhadap perlakuan kimia, bukan lignin total. Dominasi karbohidrat nonstruktural terutama pati yang dilaporkan mencapai sekitar 67 gram per 100 gram bahan menyebabkan sebagian besar glukosa tersimpan dalam bentuk pati, sehingga potensi rendemen selulosa struktural dari empulur batang Gewang secara alami terbatas.
2. Metode ekstraksi alkali soda-AQ dengan kondisi 20 NaOH, 0,5 AQ, suhu 170 °C, rasio cairan/padatan 1:5, dan waktu 90 menit menghasilkan rendemen selulosa sebesar 12,7 dari berat kering empulur batang Gewang, sedangkan metode acetosolv dengan 75 asam asetat, 0,5 HCl, suhu 140 °C, rasio 1:5, dan waktu 120 menit menghasilkan rendemen selulosa sebesar 3,2. Hal ini menunjukkan bahwa alkali lebih efektif untuk melepaskan fraksi selulosa struktural melalui mekanisme pembengkakan serat dan pemutusan ikatan lignin-karbohidrat, sedangkan sistem acetosolv pada kondisi yang digunakan belum mampu memaksimalkan pelepasan selulosa

karena pembengkakan dinding sel dan difusi pelarut yang lebih terbatas.

3. *Bleaching* selulosa empulur batang Gewang dengan hidrogen peroksida H_2O_2 menghasilkan rendemen sekitar 54,7 untuk selulosa hasil acetosolv dan 54,0 untuk selulosa hasil alkali dari berat awal masing-masing 16 g. *Bleaching* dengan natrium hipoklorit $NaOCl$ menghasilkan rendemen sekitar 49,6 pada selulosa acetosolv dan 38,3 pada selulosa alkali, sehingga menunjukkan kehilangan massa yang lebih besar dibandingkan H_2O_2 . Secara visual, $NaOCl$ memberikan pemutihan yang lebih kuat dan warna selulosa yang lebih putih tetapi disertai penurunan rendemen yang lebih besar, sedangkan H_2O_2 memberikan pemutihan moderat dengan kehilangan massa yang lebih terkendali, sehingga kombinasi proses alkali diikuti *bleaching* H_2O_2 dapat dipandang sebagai pilihan yang lebih seimbang antara tingkat pemutihan dan efisiensi rendemen.
4. Sifat morfologi serat menunjukkan bahwa panjang serat selulosa empulur batang Gewang berada dalam kisaran serat pendek dengan rata-rata sekitar 0,53 mm dan sebanding dengan berbagai serat palma non-kayu lain yang dilaporkan dalam literatur. Dengan mempertimbangkan panjang serat yang relatif pendek dan rendemen selulosa yang terbatas, selulosa empulur batang Gewang lebih berpotensi dimanfaatkan sebagai komponen campuran dalam sistem *pulp non-kayu*, bahan pengisi komposit, atau bahan baku awal produk selulosa bernilai tambah skala terbatas daripada sebagai sumber utama serat industri.

Saran

1. Penelitian lanjutan perlu dirancang dengan ulangan dan variasi kondisi proses yang lebih luas untuk masing-masing metode ekstraksi, sehingga memungkinkan dilakukan analisis statistik inferensial seperti ANOVA dan penentuan kondisi operasi optimum bagi rendemen dan kualitas selulosa empulur batang Gewang.
2. Optimasi proses alkali soda-AQ dan acetosolv sebaiknya difokuskan pada variasi konsentrasi reagen, suhu, waktu pemasakan, dan rasio cairan/padatan serta dilengkapi dengan analisis pendukung seperti FTIR, *XRD*, dan *SEM* untuk mengaitkan perubahan struktur kimia dan morfologi

dengan sifat produk yang dihasilkan.

3. Untuk memperoleh keseimbangan antara kecerahan dan retensi rendemen, proses *bleaching* dengan H_2O_2 perlu dioptimasi melalui pengaturan konsentrasi, pH, suhu, waktu kontak, dan penggunaan stabilisator, terutama jika selulosa ditujukan untuk aplikasi yang memerlukan kecerahan dan kemurnian tinggi.
5. Penggunaan NaOCl sebagai agen *bleaching* hendaknya dipertimbangkan dengan hati-hati karena potensi degradasi selulosa dan isu lingkungan, sehingga perlu kajian lebih lanjut mengenai penurunan dosis, pengaturan pH, dan kombinasi dengan tahapan *bleaching* lain yang lebih ramah lingkungan.
6. Pemanfaatan empulur batang Gwang sebagai bahan baku selulosa sebaiknya diarahkan untuk skala terbatas atau aplikasi khusus, misalnya sebagai campuran *pulp* non-kayu, bahan pengisi komposit, atau bahan baku pengembangan material berbasis selulosa di tingkat lokal, dengan tetap memadukan pemanfaatan bagian tanaman lain seperti pelepah, daun, dan empulur.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, C. A. (2016). *Studi sifat dasar dan kegunaan kayu Gewang (Corypha utan Lamk.)* [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Repository IPB.
- Amrillah, N. A. Z., Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi efektivitas metode ekstraksi selulosa dari agricultural waste. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1–8.
- Bajpai, P. (2016). *Pulp and paper industry: Chemicals*. Elsevier.
- Balai Taman Nasional Baluran. (2005). *Gewang (Corypha utan Lamk.): Potensi dan pemanfaatan*. Balai TNB.
- Bhardwaj, N. K., Kaur, D., Chaudhry, S., Sharma, M., & Arya, S. (2019). Approaches for converting sugarcane trash, a promising agro residue, into pulp and paper using soda pulping and elemental chlorine-free bleaching. *Journal of Cleaner Production*, 217, 225–233.
- Bose, S. K., Omori, S., Kanungo, D., Francis, R. C., & Shin, N. H. (2009). Mechanistic differences between kraft and soda/AQ pulping. Part 1: Results from wood chips and pulps. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 29(3), 214–226.
- Butnariu, M., & Ionut-Flavius, H. (2022). General information about cellulose. *Journal of Bioequivalence & Bioavailability*, 14(3), 1–6.
- Calvo-Flores, F. G., Dobado, J. A., Isac-García, J., & Martín-Martínez, F. J. (2022). *Lignin and lignans as renewable raw materials: Chemistry, technology and applications*. Wiley-Blackwell.
- Cosgrove, D. J. (2018). Diffuse growth of plant cell walls. *Plant Physiology*, 176(1), 16–27.
- Ferrer, A., Rosal, A., Valls, C., Roncero, M. B., & Rodríguez, A. (2013). Acetosolv pulping for the fractionation of empty fruit bunches. *BioResources*, 8(2), 2529–2541.
- Foelkel, C. (2006). *Fiber morphology and kraft pulp strength properties*. Eucalyptus Online Book, ABTCP.
- Gharehkhani, S., Sadeghinezhad, E., Kazi, S. N., Yarmand, H., Badarudin, A., Safaei, M. R., & Zubir, M. N. M. (2015). Basic effects of pulp refining on fiber properties: A review. *Carbohydrate Polymers*, 115, 785–803.

- Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Singh, R., Chaudhary, M., & Kushwaha, S. (2019). *Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent. Bioresource Technology, 216*, 1066–1076.
- Hassan, A., Salema, A. A., Ani, F. N., & Bakar, A. A. (2011). A review on oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polymer composite materials. *Polymer Composites, 32*(12), 2038–2047.
- Heinze, T. (2015). *Cellulose: Structure and properties*. In O. J. Rojas (Ed.), *Cellulose chemistry and properties: Fibers, nanocelluloses and advanced materials* (pp. 1–52). Springer.
- Hurter, R. W., & Byrd, M. V. (2013). *Pulping and bleaching of Malaysian oil palm empty fruit bunches. TAPPI Journal, 12*(7), 31–39.
- Khan, M. Z. H., Huda, M. N., Jami, M. K., & Ahsan, N. (2024). *Bleaching of non-wood pulp: A review on environmentally friendly approaches. Journal of Natural Fibers, 21*(1), 1–18.
- Krstić, S. B., Porobić, S. J., Šaponjić, A. R., & Stojanović, D. B. (2018). Isolation and characterisation of cellulose from various plant sources. *Materials Science Forum, 940*, 47–52.
- Kurniawan, H., & Yuniati, D. (2015). Analisis vegetasi dan potensi penyimpanan karbon sabana Gewang (*Corypha utan Lamk.*) di Kecamatan Boking, Kabupaten Timor Tengah Selatan. *Jurnal Silvikultur Tropika, 6*(3), 174–180.
- Lalel, H. J. D., & Riwu Kaho, N. P. L. B. (2018). Gewang (*Corypha utan Lamk.*) sebagai tanaman penyangga pangan lokal Timor. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Lahan Kering* (pp. 1–8). Universitas Nusa Cendana.
- Li, M., Yao, Y., Liu, Z., Wang, C., Sun, S., Zeng, Z., & Luo, H. (2020). Effect of NaClO bleaching treatment on the properties of cellulose sheet. *BioResources, 15*(2), 3427–3436.
- Male, Y. T., & Bani, A. (2023). Pemanfaatan tradisional tanaman Gewang (*Corypha utan Lamk.*) oleh masyarakat Nusa Tenggara Timur. *Nama Jurnal*, volume(nomor), halaman.
- Marks, C., König, S., Gröngroft, A., & Schmitt, D. (2023). The environmentally benign pulping process of non-wood fibers. *Industrial Crops and Products, 199*, 116710.
- Nakyp, A., Phan, K. T., Yoshida, M., & Ishiguro, M. (2024). The effect of alkaline pre-treatment on cellulose pulp fiber dissolution. *Cellulose, 31*, halaman.

- Nazhad, M. M. (2021). Fundamentals of strength development in *non-wood* pulps. *BioResources*, 16(4), 8300–8327.
- Ndun, L. M., Nahas, R. K., & Taena, W. (2017). Analisis kandungan gizi putak dari pohon Gewang (*Corypha utan Lamk.*). *Nama Jurnal*, volume(nomor), halaman.
- Plants of the World Online. (2024). *Corypha utan Lamk.* Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/>
- PROSEA. (2002). *Corypha utan Lamk.* In M. Brink & R. P. Escobin (Eds.), *Plant resources of South-East Asia No. 17: Fibre plants*. PROSEA Foundation.
- Ramle, S. F. M., Sulaiman, O., Hashim, R., Arai, T., Kosugi, A., Abe, H., Murata, Y., & Mori, Y. (2012). Characterization of parenchyma and vascular bundle of oil palm trunk as function of storage time. *BioResources*, 7(4), 4843–4857.
- Rezayati-Charani, P., Mohammadi-Rovshandeh, J., Hashemi, S. J., & Kazemi-Najafi, S. (2006). Influence of dimethyl formamide *pulping* of bagasse on *pulp* properties. *Bioresource Technology*, 97(18), 2435–2442.
- Rodríguez, A., Serrano, L., Moral, A., Pérez, A., & Jiménez, L. (2010). Soda-AQ *pulping* of residues from oil palm industry. *Cellulose Chemistry and Technology*, 44(7–8), 239–246.
- Singh, S. P. (2018). Fibre coarseness and its significance in papermaking. *Paper Asia*, 34(5), 22–29.
- Siregar, Y. D. I., Piping, S., Anita, S., Erlina, R., & Delvita, R. (2021). Extraction of *cellulose* from Gewang (*Corypha utan*) leaf as raw material for carboxymethyl *cellulose* production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 926, 012062.
- Spanic, N., Jambrekov, V., Klaric, M., Krizetic, J., & Brezovic, M. (2015). Characterization of *non-wood fibers* as potential reinforcement for composite materials. Dalam *Proceedings of the 26th International Conference on Wood Science and Technology*. Zagreb.
- Sridach, W. (2010). The environmentally benign *pulping* process of *non-wood fibers*. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 17(2), 105–123.
- Sridach, W., Pothiratana, A., & Suwannapinunt, N. (2010). Morphological characteristics and papermaking properties of *non-wood fibers* from Thailand. *BioResources*, 5(4), 2297–2311.

Suess, H. U. (2010). *Pulp bleaching today*. De Gruyter.

Sun, J. X., Sun, X. F., Zhao, H., & Sun, R. C. (2004). Isolation and characterization of *cellulose* from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2), 331–339.

Tofani, G., Cornet, I., & Tavernier, S. (2024). Lignocellulosic biomass valorisation: A review on the acetosolv process. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140000.

Vázquez, G., Antorrena, G., González, J., & Freire, S. (1995). Acetosolv pulping of *Eucalyptus globulus wood* : Influence of the cooking variables on the pulp yield, lignin in pulp, and pulp properties. *Holzforschung*, 49(1), 69–74.

Wan Rosli, W. D., Leh, C. P., Zainuddin, Z., & Tanaka, R. (2004). Effects of fibre morphology on properties of soda *pulp* of oil palm empty fruit bunch fibre. *Cellulose Chemistry and Technology*, 38(3–4), 191–201.

Wanrosli, W. D., Zainuddin, Z., Law, K. N., & Asro, R. (2007). *Pulp* from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial Crops and Products*, 25(1), 89–94.

Witono, J. R. (2018). Keragaman hayati palma Indonesia. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Konservasi Tumbuhan*. Kebun Raya Bogor.

Yimlamai, P., Sridach, W., & Thongpet, C. (2023). Soda *pulping* of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) and its usage in paper and packaging applications. *BioResources*, 18(3), 5211–5228.

Zhang, M., Li, J., Tang, L., Liu, Z., Yin, H., Du, H., & Dong, C. (2021). Bleaching of brown pulp: Xylan modification and its effect on paper properties. *BioResources*, 16(4), 6814–6828.