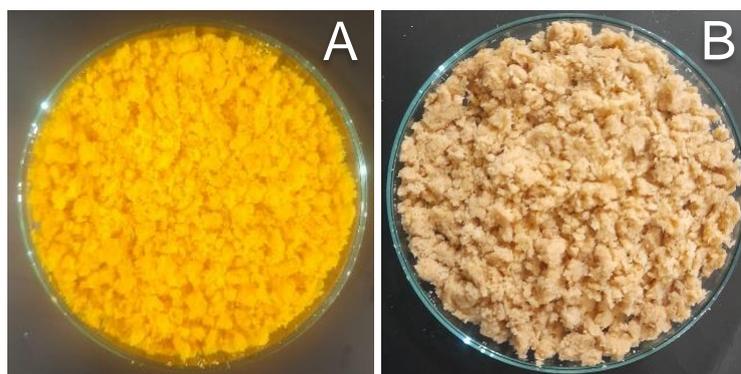


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

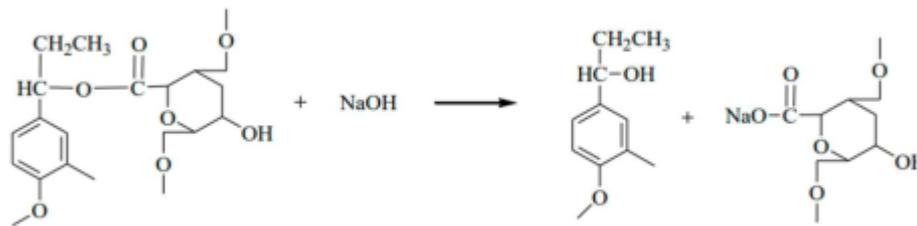
4.1 Isolasi MCC Ampas Tebu

Isolasi alfa selulosa diawali dengan proses pre-treatment dengan menggunakan larutan asam nitrat dan asam sulfat yang berfungsi untuk merusak struktur lignin pada ampas tebu (Dewi dkk., 2018). Perusakan terjadi dikarenakan larutan asam akan bereaksi dengan air sehingga akan menghasilkan ion hidronium yang mampu merusak struktur lignin pada struktur ampas tebu (Safitri dkk., 2018). Hasil sampel pada proses pre-treatment dapat dilihat pada gambar 4.1



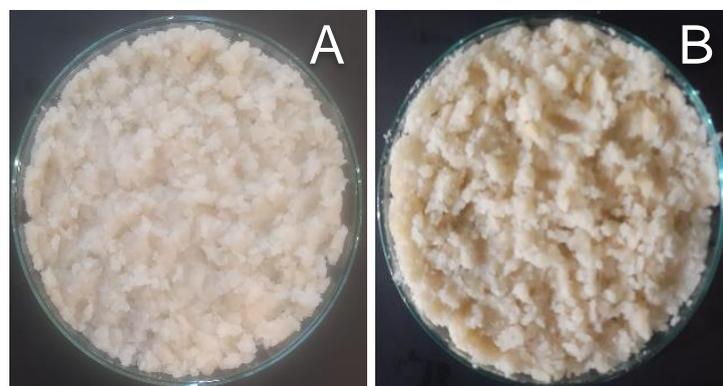
Gambar 4.1 Sampel Hasil Proses Pre-treatment, (A) asam nitrat dan (B) asam sulfat

Kemudian sampel yang dihasilkan akan melalui proses delignifikasi dengan proses treatment dengan larutan NaOH 2N yang digunakan untuk memisahkan selulosa dan mengurangi kandungan lignin (Anggraini dkk., 2022). Lignin yang larut pada NaOH cukup banyak sehingga warna yang dihasilkan pada proses ini berupa pulp berwarna coklat. Lalu pulp disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral dan sampai filtrat menjadi tidak berwarna yang menandakan tidak ada pelarut yang tertinggal (Anggarini dkk., 2022). Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.2



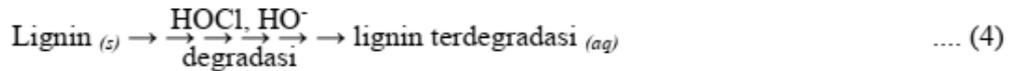
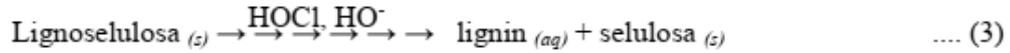
Gambar 4.2 Reaksi *Delignifikasi* Menggunakan NaOH

Proses delignifikasi juga digunakan untuk memisahkan alfa, betha dan gamma selulosa. Alpha selulosa tidak larut didalam larutan NaOH sedangkan beta dan gamma selulosa larut dalam larutan NaOH sehingga perlu dilakukan pencucian menggunakan aquadest untuk menghilangkan pelarut yang masih tertinggal dalam *pulp* sampai filtrat tidak berwarna yang dapat dilihat pada gambar 4.3



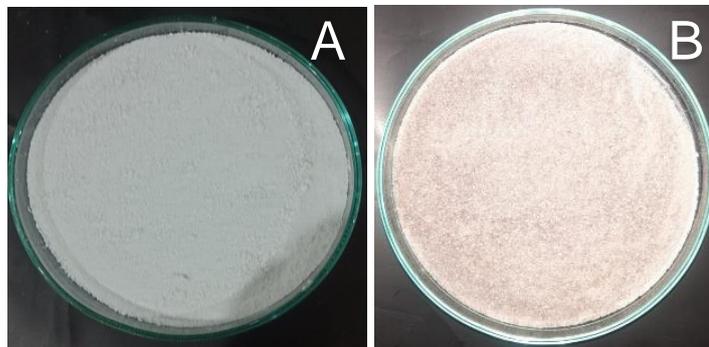
Gambar 4.3 Pulp Setelah Proses Delignifikasi Sampel, (A) Asam Nitrat dan (B) Asam Sulfat

Selanjutnya pulp yang didapat dilakukan proses *bleaching* menggunakan larutan NaClO 1% dengan menambahkan sedikit asam asetat 20 ml. fungsi dilakukan *bleaching* ini yaitu untuk menghilangkan sisa-sisa lignin dan hemiselulosa serta memutihkan sampel pulp yang dihasilkan. Pemutihan dilakukan dengan pencampuran larutan NaClO dengan asam asetat. Fungsi penambahan asam asetat ini agar dapat bereaksi dengan NaClO dan menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) yang merupakan oksidator kuat dan dapat memutus ikatan lignoselulosa dan ikatan eter dalam struktur lignin (Pratama dkk., 2019). Reaksi yang terjadi pada saat proses pemutihan dengan larutan NaClO ditunjukkan pada gambar 4.4



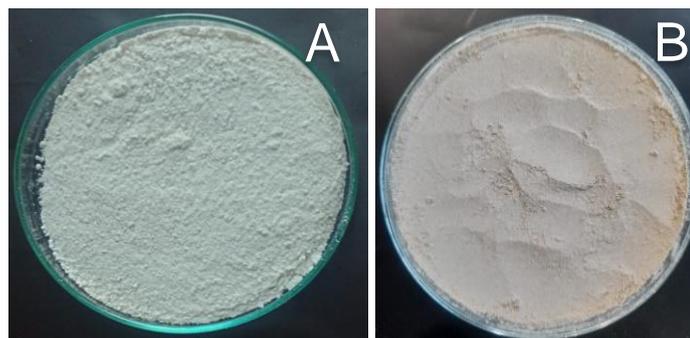
Gambar 4.4 Reaksi Proses Pemutihan dengan Larutan NaClO (Pratama dkk., 2019)

Pemutusan lignoselulosa dan reaksi oksidasi lignin menunjukkan lignin telah terpisah dari sampel berupa material padatan berwarna putih yang dapat dilihat pada gambar 4.5. Ini terjadi dikarenakan proses pemutihan akan memutus ikatan ester yang menghubungkan lignin dan hemiselulosa sehingga akan merusak ikatan tersebut dan memungkinkan komponen lignin untuk larut (Pratama dkk., 2019).



Gambar 4.5 Pulp Setelah Proses Bleaching sampel, (A) asam nitrat dan (B) asam sulfat

Selanjutnya merupakan proses isolasi Mikrokristalin selulosa yang bertujuan untuk merusak struktur amorf pada selulosa. Pada proses ini akan menggunakan pelarut asam kuat yaitu HCl, dikarenakan struktur amorf berupa serabut sehingga mudah terdegradasi oleh larutan asam dan akan menyisakan struktur kristalin pada selulosa (Trache dkk., 2016). Sampel yang dihasilkan akan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan padat seperti kristal yang disebut mikrokristalin selulosa yang dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Mikrokrystalin Selulosa *Pre-treatment*, (A) Asam Nitrat dan (B) Asam Sulfat

4.1.1 Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Kemurnian Alfa-selulosa

Tabel 4.1 Menunjukkan hasil alfa selulosa dari ampas tebu dan pulp dengan menggunakan proses *pre-treatment* asam untuk proses isolasi alfa selulosa.

Tabel 4.1 Kandungan Alfa Selulosa Pada Pulp Dengan *Pre-treatment* yang Berbeda

No	Parameter	Bahan Baku Ampas Tebu	Pulp	
			Asam Nitrat	Asam Sulfat
1	Hemiselulosa	24,66 %	9%	4,54%
2	Alfa-selulosa	42,74 %	37,63%	79,76%

Sampel ampas tebu yang digunakan mengandung kadar alfa selulosa sekitar 42,74% dan hemiselulosa sebesar 24,66% yang sesuai dengan rentang yang dihasilkan oleh mokhena dkk tahun 2018. Untuk meningkatkan kadar alfa selulosa pada pulp yang tinggi dilakukan proses isolasi alfa selulosa menggunakan pelarut asam dengan jenis yang berbeda yang mampu menghidrolisis selulosa, hemiselulosa dan lainnya.

Penggunaan asam nitrat mampu menghidrolisis selulosa sehingga menjadi polisakarida dengan jumlah yang banyak (Dewi dkk., 2018). Hasil pulp setelah proses pretreatment HNO_3 memiliki kandungan hemiselulosa dan alfa selulosa sebesar 9% dan 37,63% serta sisanya merupakan pengotor dan kadar lignin yang masih tersisa sebagian. Reaksi menggunakan HNO_3 menyebabkan terbentuknya gugus $-\text{NO}_2$ pada struktur lignin. Selain itu, menurut Supranto, 2015. Substitusi

gugus hidroksil oleh gugus $-\text{NO}_2$ yang berasal dari HNO_3 dapat mengubah sifat fisik dan kimia dari selulosa yang dihasilkan serta dapat meningkatkan *hydrophilicity* pada selulosa yang sebagian larut oleh asam nitrat, sehingga menyebabkan kandungan selulosa lebih sedikit, dan menyisakan kandungan lainnya seperti lignin yang memiliki kandungan yang cukup besar. Ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Supranto dkk tahun 2015 menghasilkan selulosa yang lebih rendah dengan menggunakan asam nitrat.

Pre-treatment yang menggunakan asam sulfat menghasilkan alfa selulosa dan kandungan hemiselulosa sebesar 79,76% dan 4,54%. Hal ini terjadi karena reaksi asam sulfat menghasilkan ion sulfoniat yang dapat menjadi katalisator asam sehingga proses reaksi menjadi lebih cepat. Dengan cepatnya reaksi, proses perusakan struktur lignin menjadi lebih banyak dibandingkan dengan HNO_3 . Selain itu, menurut Nilawati, 2019 hidrolisis menggunakan asam sulfat akan memutus rantai selulosa dari lignin.

Selain menghasilkan ion sulfoniat, reaksi asam sulfat menghasilkan ion H_3O^+ dimana memiliki ion H^+ lebih banyak dari pada HNO_3 . Hal ini membuat proses penghilangan lignin dan hemiselulosa menjadi lebih banyak karena ion H^+ memiliki fungsi untuk menghidrolisis lignin dan hemiselulosa (Tang dkk., 2023). Dari proses yang sudah dilakukan, antara *pre-treatment* menggunakan H_2SO_4 dan HNO_3 . Alfa selulosa yang menggunakan H_2SO_4 yang kemudian dilanjutkan ketahap selanjutnya untuk dijadikan produk mikrokristalin selulosa (MCC).

4.1.2 Yield pulp dan Mikrokristalin Selulosa

Dalam proses isolasi alfa selulosa dan mikrokristalin selulosa menggunakan pelarut asam dan basa, menghasilkan penurunan massa sampel yang mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan. Hasil yield pulp dari ampas tebu dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Yield Pulp Dengan Pre-Treatment Yang Berbeda

Jenis Pelarut <i>Pre-Treatment</i>	Berat Awal Bahan Baku (gr)	Berat Akhir (Pulp) (gr)	% Yield Pulp (Terhadap berat bahan baku)
Asam Nitrat	50	12,8	25,6
Asam Sulfat	50	15	30

Dari hasil pada tabel 4.2 pada proses pre-treatment menggunakan asam nitrat menghasilkan yield pulp yang lebih kecil dibandingkan dengan pelarut asam sulfat. Hal tersebut disebabkan reaksi menggunakan asam nitrat menghasilkan gugus $-NO_2$ yang menyebabkan sifat fisik dan kimia dari selulosa yang dihasilkan berubah serta meningkatkan sifat *hydrophilicity* pada selulosa yang mengakibatkan selulosa menjadi larut oleh reaktan sehingga kandungan selulosanya berkurang (Supranto dkk., 2015). Hal tersebut menyebabkan yield yang dihasilkan dari proses menggunakan asam nitrat lebih sedikit dari pada proses yang menggunakan asam sulfat dapat dilihat pada Tabel 4.2. Proses isolasi mikrokristalin selulosa menggunakan pelarut HCl dengan berbagai variasi konsentrasi menghasilkan yield yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Yield Mikrokristalin Selulosa dari Alfa Selulosa

Konsentrasi HCl (M)	Berat Awal Alfa Selulosa (gr)	Berat Ekstraksi MCC (gr)	Yield% (Terhadap Alfa Selulosa)	% Kristalinitas
2	10	8,6	86	63,20
3	10	7,448	74,88	65,40
4	10	7,3	73	64,19
5	10	6,88	68,8	63,82

Dari tabel 4.3 nilai yield mikrokristalin selulosa yang tertinggi dihasilkan sebesar 86% yang dihidrolisis dengan HCl 2M, sedangkan yield terendah dihasilkan pada hidrolisis dengan HCl 5 M sebesar 68,8%. Ini terjadi karena larutan HCl

merupakan larutan asam kuat yang bersifat monoprotik dan reaktif, dimana proses pembentukan H^+ terjadi dalam 1 tahap sehingga reaksi hidrolisis berlangsung lebih cepat (Dewi dkk., 2018). Sehingga dengan cepat merusak struktur amorf pada pulp dan menyisakan struktur kristalinitas ditandai dengan peningkatan nilai kristalinitas yang dihasilkan.

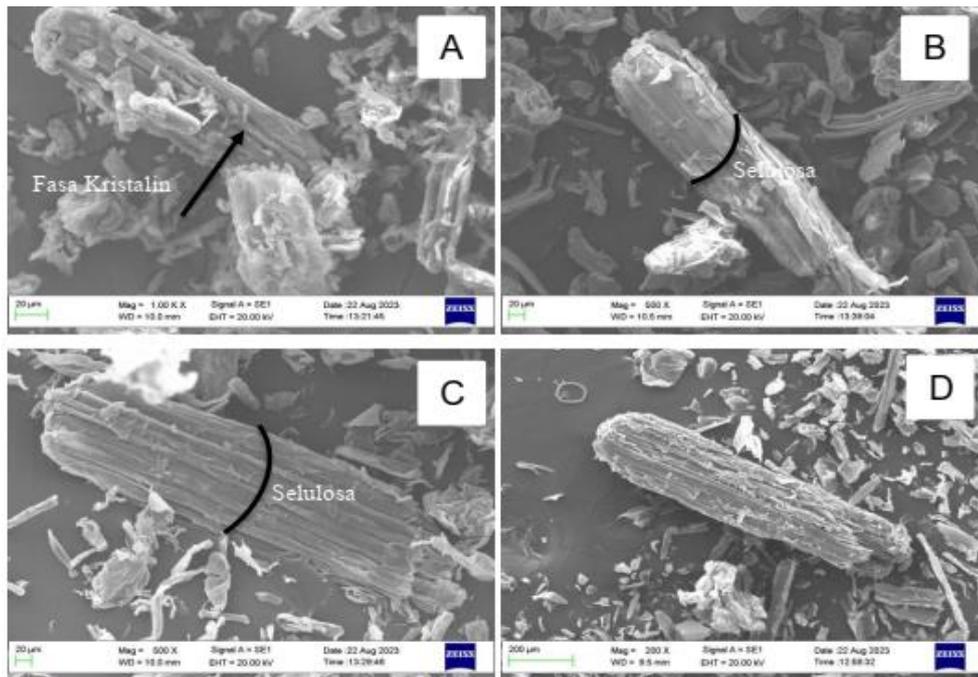
Dari hasil tersebut konsentrasi asam klorida yang digunakan mempengaruhi nilai yield yang dihasilkan, semakin tinggi konsentrasi HCl maka akan semakin rendah yield yang dihasilkan (Edison dkk., 2019). Dengan semakin meningkat konsentrasi HCl, maka semakin banyak pemecahan ikatan-ikatan dalam selulosa sehingga struktur amorf pada selulosa akan terdegradasi dan larut dalam pelarut HCl, sehingga akan mengurangi yield MCC yang dihasilkan (Kurniawan dkk., 2018).

4.2 Karakterisasi Mikrokristalin Selulosa (MCC)

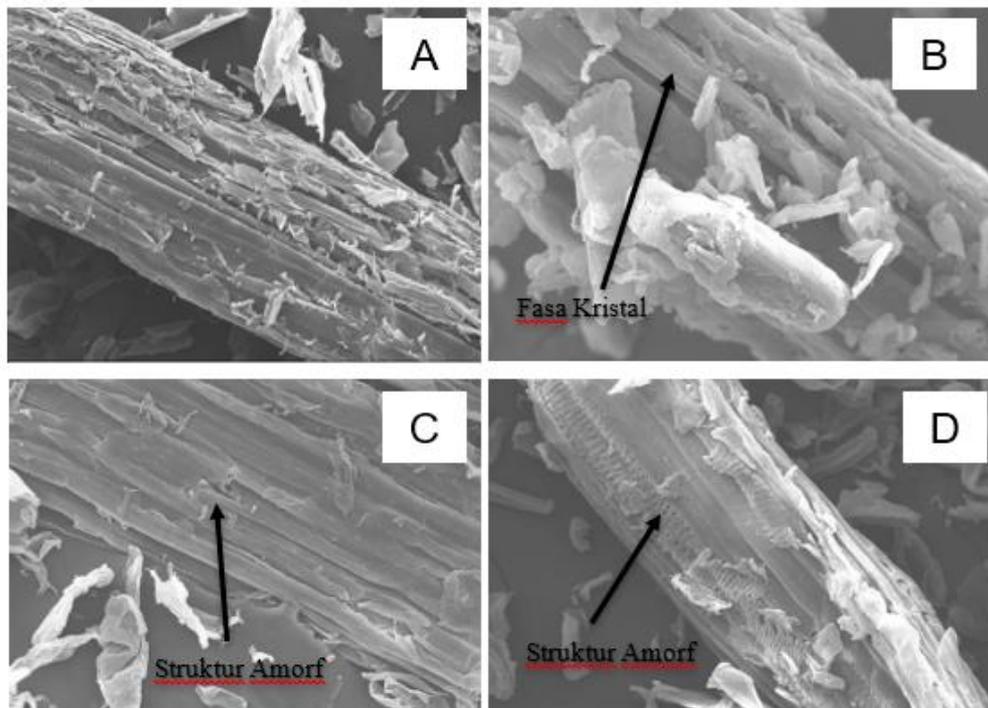
Mikrokristalin selulosa merupakan hasil olahan alfa selulosa yang dihasilkan dengan proses hidrolisis sebagian pada suhu tertentu (Edison dkk., 2019). Mikrokristalin selulosa yang dipergunakan di bidang industri memiliki karakteristik tertentu meliputi bentuk morfologi, kandungan kristalinitas serta yield yang dihasilkan. Berikut ini karakteristik mikrokristalin selulosa yang dihasilkan antara lain:

4.2.1 Morfologi Mikrokristalin Selulosa (MCC)

Mikrokristalin selulosa didapat dari hidrolisis sebagian dengan menggunakan larutan asam (Lestari., 2022). Sehingga mikrokristalin selulosa memiliki sifat mekanik yang kuat yang ditandai dengan nilai kristalinitas yang cukup tinggi sebesar 55-85% (Nuraini., 2017). Peningkatan sifat mekanik MCC terjadi dikarenakan proses perusakan struktur amorf dari alfa selulosa yang telah diproses dari ampas tebu. Hasil morfologi mikrokristalin selulosa, alfa selulosa, dan ampas tebu dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Uji SEM dengan perbesaran 500x. (A) MCC dengan HCl 3M; (B) alfa selulosa dengan HNO₃ 5%; (C) Alfa selulosa dengan H₂SO₄ 5%; (D) Ampas tebu



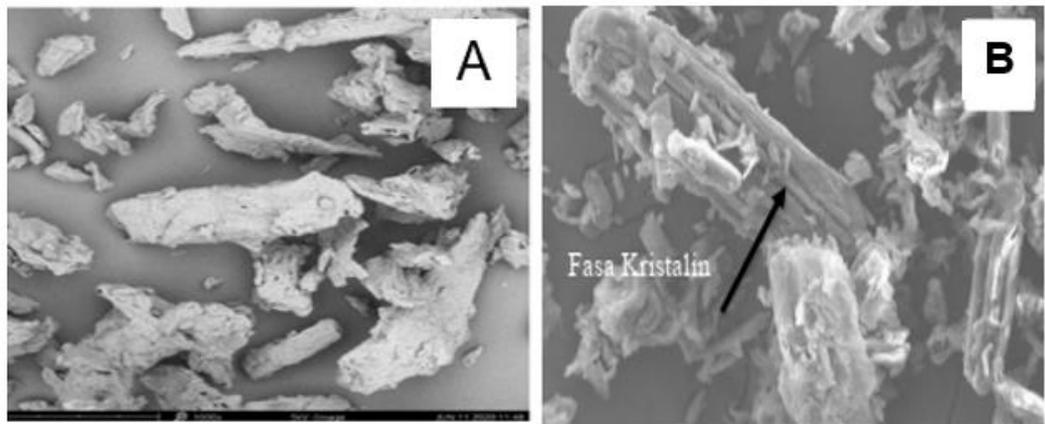
Gambar 4.8 Uji SEM dengan perbesaran 1000x. (A) Ampas Tebu; (B) MCC dengan HCl 3M; (C) Alfa Selulosa dengan H₂SO₄ 5%; (D) Alfa Selulosa dengan HNO₃ 5%.

Dari gambar 4.7 (D) morfologi ampas tebu tampak berbentuk silinder dengan panjang 20 mikrometer yang memiliki permukaan tampak kasar yang disebabkan adanya lignin dan hemiselulosa yang melekat pada serat selulosa (Abu-Thabit dkk., 2020; Haafiz dkk., 2013). Untuk mendapatkan kemurnian selulosa yang tinggi, maka komponen lain seperti lignin dan hemiselulosa akan dihilangkan dengan proses delignifikasi. Sehingga menghasilkan selulosa dengan permukaan yang lebih halus (Haafiz dkk., 2013). Dapat dilihat pada gambar 4.8 (C) dan (D), dimana morfologi alfa selulosa terlihat lebih halus yang mengindikasikan bahwa komponen lignin dan hemiselulosa telah sepenuhnya hilang yang masih menyisakan sedikit serat yang merupakan struktur amorf pada selulosa. Ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Annisa tahun 2018 dalam pembuatan MCC yang menghasilkan morfologi MCC yang masih terdapat struktur kecil yang terdiri dari serat (fibril).

Namun pada morfologi alfa selulosa 1 terlihat dipermukaan terdapat serat amorf yang lebih banyak dibandingkan dengan alfa selulosa 2, ini terjadi dikarenakan pada alfa selulosa 2 menggunakan larutan asam sulfat yang merupakan asam yang lebih efektif untuk menghidrolisis dibandingkan dengan menggunakan asam nitrat sehingga kemurnian alfa selulosa 2 yang didapat sebesar 79,76% lebih besar dibandingkan dengan alfa selulosa 1 sebesar 37,63%.

Kemudian pada mikrokristalin selulosa memiliki panjang 20 mikrometer ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nuraini dkk tahun 2017. Kemudian secara morfologi permukaan MCC memiliki permukaan lebih halus yang disebabkan oleh perlakuan bahan kimia selama proses hidrolisis MCC. Perlakuan asam ini akan merusak struktur amorf pada selulosa sehingga menghasilkan struktur kristal berbentuk panjang yang dapat dilihat pada gambar 4.7 (A).

Bentuk morfologi MCC yang dihasilkan sesuai dengan mikrokristalin selulosa komersil (Avicel PH-101) (Cowe dkk., 2009), yang sering digunakan di industri yang dapat dilihat pada gambar 4.9

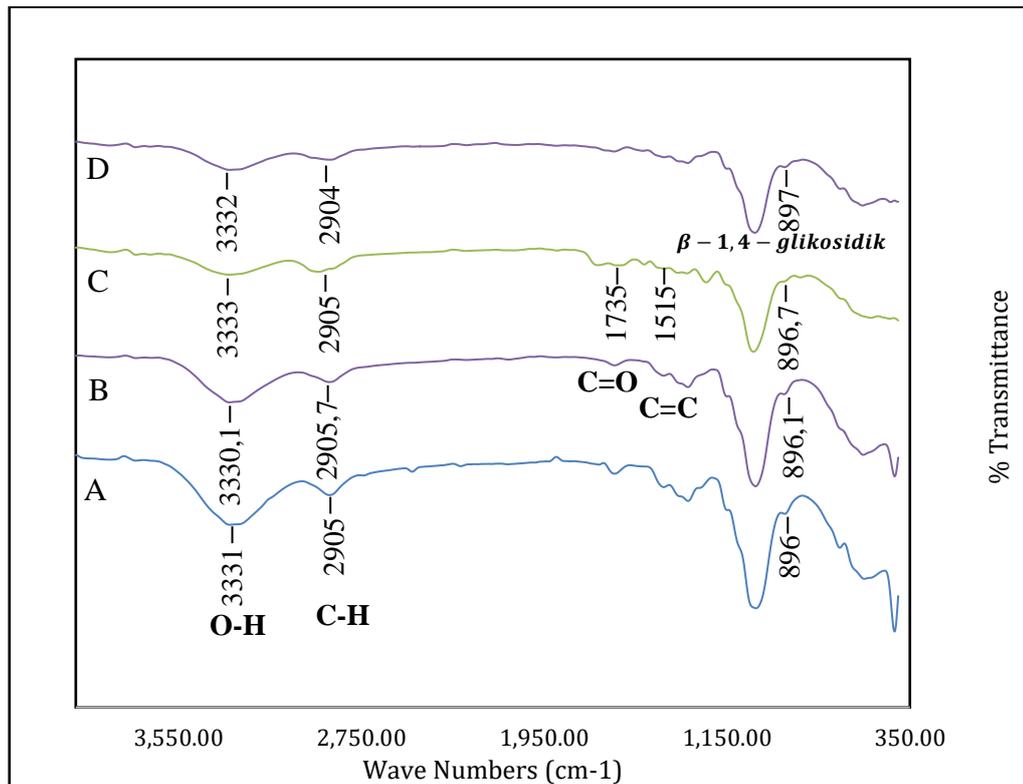


Gambar 4.9 (A) Mikrokrystalin selulosa Avicel PH-101 dan (B) Mikrokrystalin Selulosa Ampas Tebu

Bentuk MCC *Avicel PH-101* berbentuk beraneka ragam ada yang silinder, sudut runcing, dan permukaan merata dengan panjang 10 mikrometer. Sedangkan hasil morfologi MCC ampas tebu berbentuk silinder, sudut runcing dan permukaan rata dengan panjang 20 mikrometer. Sehingga berdasarkan morfologi mikrokrystalin selulosa sesuai dengan standar literatur salah satu jenis mikrokrystalin selulosa komersial

4.2.2 Gugus Fungsi Pada Produk Mikrokrystalin Selulosa (MCC)

Analisa spektroskopi inframerah (FTIR) digunakan untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung didalam sampel yang digunakan, hasil uji FTIR dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Spektrum Hasil Uji FTIR. (A) Alfa Selulosa HNO₃; (B) MCC 3M; (C) Ampas Tebu; (D) Alfa Selulosa H₂SO₄

Berdasarkan gambar diatas terjadi penyerapan puncak di daerah 3450-3300 cm⁻¹ dan 2900-2800 cm⁻¹ yang mengindikasikan setiap sampel memiliki gugus O-H dan C-H (Zhao dkk., 2018). Gugus O-H dan C-H menunjukkan adanya ikatan hidrogen intramolekuler dan merupakan gugus utama dari selulosa (Lismeri dkk., 2020). Kemudian penyerapan puncak terjadi pada sekitar puncak 897 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi dengan ikatan selulosa β-glikosidik (Zhao dkk., 2018). Pada gambar 4.10 memiliki puncak dengan ikatan selulosa β-glikosidik yang mengindikasikan bahwa ke-4 sampel yang diuji mengandung selulosa yang diinginkan.

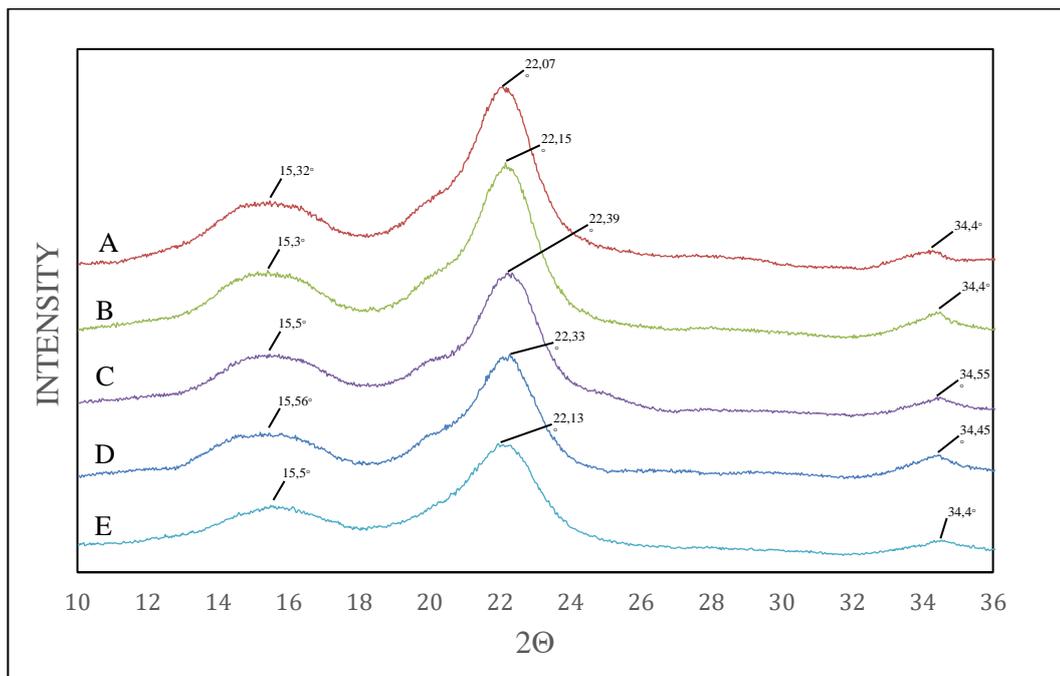
Lalu penyerapan puncak pada 1735 cm⁻¹ yang artinya terdapat gugus C=O yang merepresentasikan gugus aldehyd, ketone, dan asam karboksilat yang merupakan kandungan yang ada di hemiselulosa (Zhao dkk., 2018). Dari gambar 4.10 pada sampel bahan baku ampas tebu terdapat puncak serapan di 1735 cm⁻¹ terdapat gugus C=O yang artinya sampel ampas tebu terdapat kandungan

hemiselulosa, sedangkan pada sampel MCC, alfa selulosa 1 dan 2 tidak terdapat puncak serapan di 1735 cm^{-1} yang artinya berkurangnya kandungan hemiselulosa yang disebabkan proses hidrolisis oleh larutan asam dan basa.

Puncak serapan di 1515 cm^{-1} yang memiliki ikatan $\text{C}=\text{C}$ yang merepresentasikan kandungan lignin pada sampel tersebut (Zhao dkk., 2018). Pada sampel ampas tebu terdapat puncak serapan di 1515 cm^{-1} yang artinya ampas tebu mengandung lignin yang cukup besar, namun pada sampel mikrokristalin selulosa, alfa selulosa 1 dan 2, tidak terdapat puncak serapan di 1515 cm^{-1} yang artinya tidak kandungan lignin pada sampel tersebut, ini terjadi dikarenakan proses hidrolisis dengan pelarut asam dan basa pada suhu tertentu sehingga dapat merusak struktur lignin pada sampel tersebut (Zhao dkk., 2018).

4.2.3 Derajat Kristalinitas Mikrokristalin Selulosa (MCC)

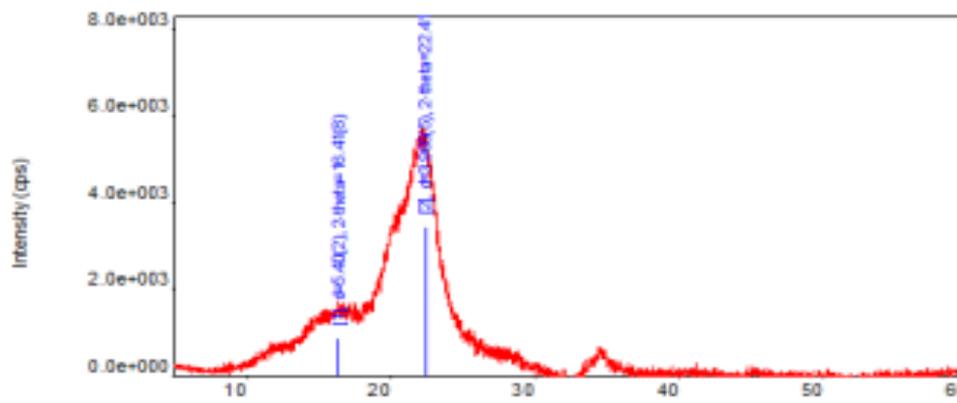
Kristalinitas merupakan salah satu parameter yang menunjukkan seberapa kuat mikrokristalin selulosa yang dihasilkan sebesar 55-85% yang digunakan di industri (Nuraini., 2017). Nilai derajat kristalinitas ditentukan menggunakan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) yang mana akan menghasilkan puncak-puncak yang menunjukkan fasa kristalin dan selanjutnya dilakukan perhitungan dengan metode yang dilakukan Zhang dkk tahun 1993. Hasil uji XRD dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Uji XRD Mikrokrystalin Selulosa Dari Ampas Tebu. (A) MCC 3M; (B) MCC 4M; (C) MCC 5M; (D) MCC 2M; (E) Alfa Selulosa (H_2SO_4)

Hasil pemeriksaan XRD memperlihatkan derajat kristalinitas dari suatu sampel. Mikrokrystalin selulosa merupakan serbuk yang tersusun atas 2 fasa yaitu fasa kristal dan fasa amorf (Ningsih dkk., 2020). Hasil uji XRD mikrokrystalin selulosa dari ampas tebu memperlihatkan puncak tajam pada 2θ yaitu sekitar 22° (Fasa kristal) dan puncak lebar pada 2θ yaitu sekitar 15° (Fasa Amorf). Hasil uji sampel memiliki kemiripan dengan mikrokrystalin selulosa komersial Avicel PH-101 yang dapat dilihat pada gambar 4.12.

Derajat kristalinitas dari mikrokrystalin selulosa MCC menandakan banyaknya fasa kristal pada mikrokrystalin selulosa. Semakin tinggi derajat kristalinitas mikrokrystalin selulosa, semakin tinggi fasa kristal dibandingkan dengan amorfnya (Homyuen dkk., 2023). Gambar 4.11 menunjukkan derajat kristalinitas dari 4 jenis MCC dan alfa selulosa. Dari gambar dapat terlihat bahwa derajat kristalinitas alfa selulosa lebih kecil dibandingkan dengan mikrokrystalin selulosa. Hal ini menandakan alfa selulosa memiliki struktur amorf yang lebih banyak dibandingkan dengan mikrokrystalin selulosa.



Gambar 4.12 Hasil XRD Mikrokrystalin Selulosa Komersial (Avicel PH-101) (Ningsih dkk., 2020)

Pengaruh konsentrasi HCl pada proses isolasi MCC menghasilkan peningkatan ketinggian dan ketajaman puncak yang dihasilkan yang dapat dilihat pada gambar 4.11, dimana larutan HCl mampu merusak struktur amorf alfa selulosa sehingga menyisakan fasa kristal dari sampel, ini ditandai dengan terjadi peningkatan ketinggian dan ketajaman puncak pada sampel MCC dibandingkan dengan sampel alfa selulosa (Singh dkk., 2019).

Mikrokrystalin selulosa yang dihasilkan dengan beberapa variasi konsentrasi HCl menghasilkan ketinggian dan ketajaman puncak grafik XRD yang yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Dengan adanya perbedaan puncak, sehingga menghasilkan nilai derajat kristalinitas yang berbeda-beda, berikut ini hasil nilai kristalinitas mikrokrystalin selulosa yang dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Kristalinitas Sampel MCC Ampas Tebu

No	Sampel	% Kristalinitas
1	Alfa Selulosa H ₂ SO ₄	61,92
2	MCC 2M	63,20
3	MCC 3M	65,40
4	MCC 4M	64,19
5	MCC 5M	63,82

Berdasarkan tabel 4.4 nilai kristalinitas yang dihasilkan terjadi peningkatan yang disebabkan peningkatan konsentrasi HCl, dimana nilai kristalinitas tertinggi dihasilkan oleh mikrokristalin selulosa dengan konsentrasi HCl sebesar 3 molar dengan derajat kristalinitas sebesar 65 %, ini sesuai yang dilakukan oleh Sunardi dkk tahun 2019 melakukan hidrolisis MCC dari rumput laut merah dengan variasi HCl 1,5 N, 2,5 N, dan 3,5 N menghasilkan nilai kristalinitas tertinggi pada konsentrasi 3,5 N sebesar 83,49%. Dimana nilai derajat kristalinitas yang dihasilkan oleh MCC ampas tebu dapat melebihi derajat kristalinitas pada MCC komersial Avicel PH-101 sebesar 59,88 % (Husni dan Budhiyanti, 2022). Hal tersebut menandakan MCC dari ampas tebu dapat digunakan sebagaimana MCC komersial.

Derajat kristalinitas menunjukkan seberapa besar fasa kristal dari selulosa atau mikrokristalin selulosa. Dengan derajat kristalinitas yang tinggi, mikrokristalin selulosa yang dihasilkan akan memiliki morfologi yang lebih teratur dan *compact* (Homyuen dkk., 2023). Sehingga dari gambar 4.8 (Hasil Uji SEM) menunjukkan perubahan morfologi dari alfa selulosa ke mikrokristalin selulosa. Perubahan yang terjadi pada sampel dapat dilihat dari permukaan yang semakin halus diikuti dengan meningkatnya derajat kristalinitasnya. Gambar 4.8 (A) Ampas Tebu terlihat permukaan yang masih dipenuhi oleh lignin dan amorf. Pada Gambar 4.8 (C) Alfa Selulosa H₂SO₄ permukaan menjadi lebih halus dengan derajat kristalinitas 61,92% dan pada Gambar 4.8 (B) MCC 3M struktur dan permukaan menjadi lebih halus diikuti dengan kenaikan kristalinitas menjadi sebesar 65,4%. Menurut Homyuen dkk (2023), morfologi dari mikrokristalin selulosa dapat dipengaruhi oleh derajat kristalinitasnya, semakin tinggi derajat kristalinitas semakin sedikit fasa amorf di partikel sehingga semakin halus permukaan partikelnya.

Konsentrasi HCl 3 molar mampu merusak struktur amorf secara optimal sehingga menghasilkan nilai kristalinitas yang tinggi didukung dengan puncak yang dihasilkan paling tinggi dibandingkan dengan variasi sampel lainnya. Namun pada saat sampel konsentrasi 4 molar dan 5 molar terjadi penurunan nilai kristalinitas disertai dengan perubahan warna menjadi lebih coklat yang dapat dilihat pada gambar 4.13, ini terjadi karena kadar asam yang terlalu tinggi, tidak hanya

menyebabkan kerusakan pada struktur amorf, tapi juga menyebabkan kerusakan struktur kristal pada selulosa (Wulandari dkk., 2016).



Gambar 4.13 Mikrokrystalin Selulosa dengan HCl. (A) HCl 2 M; (B) 3 M; (C) 4 M; (D) 5 M