

PRARANCANGAN PABRIK *MICROCRYSTALLINE CELLULOSE* (MCC) DARI TONGKOL JAGUNG DENGAN METODE HIDROLISIS ASAM KAPASITAS 8.000 TON/TAHUN

Mega Seli Prihatanti^{1*}, Dwi Rahyuningrum¹, Windi Yudita Septiana¹, Ansori¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, 68121

*Corresponding Author: megaseliprihatanti@gmail.com

Abstrak

Desain pabrik Microcrystalline Cellulose (MCC) dari tongkol jagung dengan kapasitas produksi 8.000 ton/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah biomassa dari tongkol jagung yang difokuskan pada kandungan selulosanya. Metode yang digunakan pada pabrik ini adalah hidrolisis asam dengan bantuan katalis HCl untuk membantu proses penghilangan daerah amorf pada selulosa. Pabrik ini akan didirikan pada area lahan kosong di daerah Remen, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, dengan waktu produksi 330 hari/tahun. Bentuk perusahaan yang dipilih adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 166 orang yang terdiri dari karyawan shift dan non shift. Proses produksi terdiri dari persiapan bahan baku, proses Steam Explosion, Delignifikasi, Bleaching, Hidrolisis Asam, dan pengeringan. Reaksi hidrolisis berlangsung dalam reaktor CSTR dengan kondisi operasi 80°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit. Pengeringan produk dilakukan dalam spray dryer yang memasok udara kering dengan bantuan heater, sehingga mampu mendapatkan yield produk MCC sebesar 91,77%. Berdasarkan evaluasi ekonomi, diperoleh hasil perhitungan dari lama pengembalian yaitu 3,7 tahun, laju pengembalian modal sebesar 16,385%, dan Break Event Point (BEP) sebesar 52,12%.

Kata kunci: hidrolisis asam, MCC, tongkol jagung, selulosa.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terus mengalami perkembangan salah satunya dalam bidang farmasi dengan peningkatan pasar setiap tahunnya. Indonesia dapat memenuhi kebutuhan obat sendiri sekitar 90%, namun 96% bahan baku dari total produksi yang digunakan masih diimpor (Adiarso et al., 2021). Ketika memasuki era industri modern, tantangan kesehatan semakin kompleks, sehingga kebutuhan akan bahan tambahan yang menjamin kualitas produk industri semakin meningkat. Perkembangan pesat terjadi pada industri farmasi akan mendorong permintaan obat-obatan, sehingga menjadikan Microcrystalline Cellulose (MCC) semakin penting dalam formulasi tablet untuk terus dikembangkan. Pemanfaatan MCC selain dalam industri farmasi sebagai pelarut dan pengikat, juga dimanfaatkan dalam industri makanan, minuman serta dalam kosmetik (Oktanindy & Larasati, 2024).

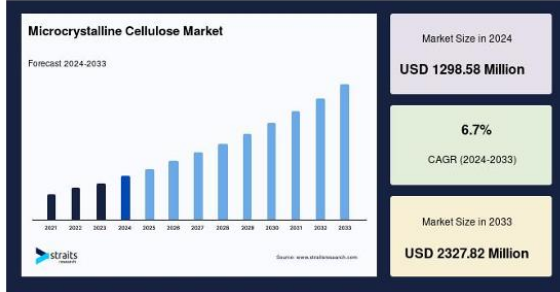
Gambar 1 merupakan proyeksi data riset oleh Straits Research (2024) yang menunjukkan jumlah pasar MCC di dunia pada tahun 2024 senilai USD 1298,58 juta dan diproyeksikan akan mencapai USD

2327,82 juta pada tahun 2033 penggunaan pertumbuhan Compounded Annual Growth Rate (CARG) menunjukkan sebesar 6,7% selama periode proyeksi dari tahun 2025–2033. Menurut data Badan Pusat Statistik (2023), seluruh kebutuhan MCC di Indonesia masih bergantung pada impor dari berbagai negara, seperti Cina, India, dan Amerika Serikat. Ketergantungan Indonesia dengan negara luar membuat kondisi dalam bahaya, karena ketika terjadi peningkatan harga oleh negara lain maka harga produk yang menggunakan MCC sebagai bahan baku akan mengalami kenaikan, sehingga mempengaruhi perekonomian di Indonesia.

MCC terbentuk dari selulosa yang dimurnikan sebagian dan diolah menggunakan preparat α -selulosa yang memiliki bentuk bubuk putih kristal tanpa rasa dan aroma, berpori, mampu menyerap kelembapan, dan tidak larut dalam air (Lestari, 2022). Selulosa terdapat dalam lignoselulosa, yaitu biomassa tanaman yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa berbentuk menyerupai serat (pulp) panjang dan kompleks dalam dinding sel tanaman yang



tersusun dari daerah kristalin dan amorf. Bagian amorf akan dihilangkan melalui proses hidrolisis untuk memperoleh produk MCC yang telah dimurnikan secara kimiawi (Edison et al., 2019).



Gambar 1. Proyeksi Data Riset MCC Sumber: (Straits, 2024)

Metode yang digunakan dalam memproduksi Microcrystalline Cellulose (MCC) yaitu hidrolisis asam. Metode ini merupakan proses yang melibatkan pemecahan rantai panjang selulosa menjadi fragmen yang lebih pendek melalui perlakuan dengan asam mineral encer. Proses pemurnian dengan hidrolisis asam menghasilkan daerah amorf terdegradasi sehingga fragmen yang dihasilkan lebih pendek dan kuat (Prayoga & Aziz, 2024). Kelebihan metode ini efektif dalam memproduksi MCC yang memiliki tingkat kristalinitas tinggi yang dapat menghasilkan MCC stabil. Hidrolisis akan memecah ikatan glikosidik pada selulosa untuk menghasilkan MCC yang masih berupa polimer dan tidak dapat larut ke dalam air, jika hidrolisis diteruskan menjadi lebih sempurna maka selulosa akan terurai menjadi monomer glukosa yang larut dalam air (Lestari, 2022). Proses hidrolisis menggunakan katalis asam yaitu HCl, karena memiliki reaktivitas lebih sesuai digunakan dibandingkan asam sulfat (Sunardi et al., 2019). Namun penggunaan asam dengan konsentrasi yang terlalu tinggi dan waktu reaksi yang terlalu lama akan menyebabkan perubahan warna menjadi kecoklatan.

Produksi MCC di Indonesia memiliki keunggulan dalam ketersediaan bahan baku dibandingkan negara lain. Indonesia sebagai negara agraris yang memiliki lahan pertanian yang luas, termasuk area pertanian yang mencapai 2.548.654,00 hektar pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistik, 2024). Tanaman jagung salah satu yang menghasilkan lignoselulosa sangat besar. Bagian tongkol jagung yang merupakan limbah pertanian dapat dikonversi menjadi MCC melalui proses hidrolisis asam menunjukkan nilai yield sebesar 93,2% (Ren et al., 2019). Kandungan serat pada tongkol jagung terdiri

dari dari senyawa kompleks selulosa 41%, hemiselulosa 36%, dan lignin 16%, kadar air dan lainnya 7% (Kulp & Joseph G. Ponta, 2000). Kandungan ini lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lain seperti sekam padi yang mengandung sekitar 38,8% selulosa, 39,5% hemiselulosa, dan 17,1% lignin (Suseno et al., 2023).

2. Deskripsi Proses

a. Seleksi Proses

Terdapat beberapa proses yang digunakan dalam pembuatan Microcrystalline Cellulose (MCC). Berikut merupakan perbandingan proses produksi MCC dari segi pre-treatment dan treatment utamanya yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Perbandingan Metode Pre-Treatment MCC

Metode	AFEX	ILs	Steam Explosion
Suhu (°C)	90	90-130	195
Tekanan (atm)	1-5,2	-	13
Selulosa (%)	33,55	89,62	90,2
Hemiselulosa (%)	24,8	44,51	82,6
Lignin (%)	12,2	81,9	87

Tabel 2 Perbandingan Metode Treatment MCC

Metode	Hidrolisis Enzimatis	Kontak Uap	Hidrolisis Asam
Suhu (°C)	45-50	200-350	80-140
Tekanan (atm)	-	29,26	-
Yield MCC	75,7	75	86

b. Uraian Proses

Proses yang digunakan untuk memproduksi MCC memiliki beberapa tahapan, dengan metode utama adalah hidrolisis asam menggunakan bantuan katalis HCl. Berikut beberapa proses pembuatan MCC

1) Persiapan Bahan Baku

Tongkol jagung sebelum masuk gudang dilakukan *quality control* (QC) untuk memastikan kondisi tongkol jagung sesuai dengan standar pabrik, sehingga tidak berpengaruh pada proses produksi. Tongkol jagung yang lolos QC dengan kadar air maksimal 14% akan dimasukkan ke dalam gudang penyimpanan tidak lebih dari 7 hari untuk menghindari terbentuknya jamur dan hama (Susiana et al., 2024). Bahan baku tongkol jagung dari gudang penyimpanan (F-110) dipindahkan menggunakan *Belt Conveyor* (J-111) menuju *Hammer Mill* (C-112) untuk dilakukan proses pencacahan (*size reduction*) agar ukurannya lebih kecil. Proses pencacahan bahan baku akan menghasilkan ukuran sebesar 10-18 *mesh* (1-2 mm), sehingga dapat mempermudah proses



selanjutnya yang mengontakkan antara *steam* dengan bahan baku tongkol jagung (Lestari, 2022; Rocha et al., 2012). Ukuran bahan yang semakin kecil akan memperluas *surface area*, sehingga interaksi bahan dengan *steam* semakin besar dan proses pemanasan lebih merata (Bestari et al., 2017). Tongkol jagung dengan ukuran yang telah sesuai akan dimasukkan dan ditampung sementara di dalam Tangki Penyimpanan (F-113).

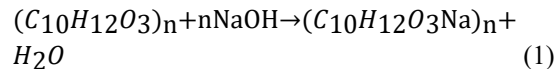
2) Steam Explosion

Proses *Steam Explosion* dimulai dari Tangki Penyimpanan (F-113) yang kemudian diangkut menuju Reaktor *Steam Explosion* (R-120) dengan bantuan *Screw Conveyor* (J-121). Tongkol jagung masuk pada Reaktor *Steam Explosion* berada pada kondisi suhu ruang, yaitu 30°C dan tekanan 1 atm, kemudian terjadi pemanasan dengan penambahan *High Pressure Steam* (HPS). *Steam Explosion* (SE) adalah proses perlakuan biomassa dengan uap panas (180-240°C) dibawah tekanan 1 - 3,5 MPa dengan diikuti meningkatnya tekanan, kemudian terjadi ledakan ke atmosfer sehingga tekanan kembali rendah (Saputra et al., 2022). Proses pemanasan berada pada kondisi suhu 195°C dengan tekanan 13 atm selama 5 menit dengan tujuan agar *steam* dapat masuk ke dalam pori-pori kandungan lignoselulosa pada tongkol jagung (Rocha et al., 2012). *Steam* yang masuk ke dalam bahan dapat lebih memperluas *surface area*, sehingga dapat memecahkan makrofibril untuk membentuk hemiselulosa, selulosa, dan lignin (Saputra et al., 2022).

Kandungan lignoselulosa tongkol jagung mengalami ledakan saat tekanan tinggi dalam reaktor tiba-tiba diturunkan menjadi 1 bar melalui Pressure Reducing Valve. Proses ini membuka pori-pori lignoselulosa, memecah ikatannya, dan menghasilkan padatan basah pada suhu 100°C dan tekanan 1 bar (Hu et al., 2003). Proses *explosion* menyebabkan kandungan lignoselulosa dan *steam* masuk ke dalam *Blow Tank* (T-122) yang bertujuan untuk pemisahan antara *steam* dan lignoselulosa. *Steam* pada *Blow Tank* (T-122) akan dialirkan keluar sesuai prinsip tekanan fluida, kemudian padatan basah lignoselulosa akan masuk ke dalam *Filter Press* (H-123) untuk proses pemisahan antara hemiselulosa dengan fase padat basah (selulosa dan lignin). *Cellu-lignin* yang dalam bentuk padat basah menuju tahap delignifikasi dengan bantuan *Screw Conveyor* (J-211) sedangkan hemiselulosa cair akan disimpan sebagai *crude* hemiselulosa.

3) Delignifikasi

Tahap Delignifikasi bertujuan untuk memisahkan kandungan lignin pada selulosa dengan bantuan pelarut NaOH 6 % (%w/w). Hasil pengenceran dengan ratio 1:20 antara *cake:liquid* yang dialirkan ke dalam Tangki Delignifikasi (R-210) (Lismeri, 2020). Tahap delignifikasi akan terjadi reaksi pemutusan lignin pada lignoselulosa, kemudian ion Na⁺ dari NaOH akan berikatan dengan lignin (Sindhuwati et al., 2021). Proses Delignifikasi terjadi pada bahan padat basah (*cellu-lignin*) dari *Screw Conveyor* (J-211) yang dipindahkan ke dalam Reaktor Delignifikasi (R-210) dengan perubahan kondisi suhu akibat adanya penambahan *steam*. *Steam* yang digunakan jenis *Low Pressure Steam* (LPS), ditambahkan pada saat proses delignifikasi sehingga kondisi operasi terjadi pada suhu 130°C selama 60 menit (Lismeri, 2020). Selanjutnya terjadi penambahan NaOH 6% dari Tangki Pengenceran (M-214) untuk melarutkan lignin. NaOH ditambahkan untuk menurunkan kadar lignin, karena lignin larut pada pH tinggi. Ion Na⁺ berikatan dengan lignin, mempermudah pemisahannya dan memungkinkan terbentuknya selulosa melalui reaksi kimia (Permatasari et al., 2014). Berikut mekanisme reaksi pemutusan lignin pada proses delignifikasi: (Permatasari et al., 2014).



Proses delignifikasi akan menghasilkan tiga produk, yaitu lignin yang terlarut dengan pelarut, selulosa yang masih terdapat sedikit lignin, dan produk samping berupa Na-ligninat ($(C_{10}H_{12}O_3Na)_n$). Produk tersebut dialirkan menuju *Intermediate Tank* (F-216) sebelum dialirkan menuju *Centrifuge* (H-217). Selulosa yang masih terdapat kandungan lignin dan Na-ligninat kemudian dialirkan menuju *Centrifuge* (H-217) untuk memisahkan selulosa dengan sisa lignin dan produk sampingnya (Na-ligninat). Proses pemisahan pada *Centrifuge* (H-217) menghasilkan padatan (*cake*) yang mengandung selulosa dan aliran *liquid* terpisah berwarna hitam yang mengandung lignin (*black liquor*) yang disimpan sebagai *crude* lignin.

4) Bleaching

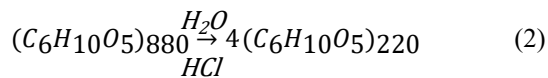
Bleaching merupakan proses penghilangan senyawa lignin yang masih tersisa dari proses sebelumnya melalui degradasi rantai, agar lignin dapat larut pada saat pencucian. *Bleaching* dilakukan dalam Tangki *Bleaching* (R-220) dengan penambahan H₂O₂ sebagai bahan yang mampu mengubah pigmen warna pada selulosa menjadi lebih cerah, hasilnya anion perhidroksil (OOH⁻) sebagai ion aktif yang sangat



berperan dalam proses pemutihan. Penambahan H_2O_2 5% dengan ratio 2:1 antara *cake:liquid* dilakukan bersamaan pada saat *cake* telah didistribusikan oleh *screw conveyor* (J-221) ke dalam reaktor *bleaching* (Fauziyah et al., 2022). Proses berlangsung dalam kondisi suhu $80^\circ C$ dengan tekanan 1 atm dan pengadukan selama 60 menit (Li et al., 2010). Keluaran dari Tangki *Bleaching* (R-220) akan dialirkan menuju *Centrifuge* (H-227) bersamaan dengan diumpankan air proses. Terjadi proses pemisahan pada *Centrifuge*, aliran padatan menghasilkan *cake* selulosa yang telah berwarna putih dan aliran *liquid* keluar terpisah menuju pengolahan limbah.

5) Hidrolisis Asam

Hidrolisis asam merupakan tahapan depolimerisasi untuk memutus rantai selulosa, sehingga menjadi lebih pendek. Bagian *amorf* pada selulosa akan dipisahkan dari kristalinnya dengan memutus rantai *amorf* yang lebih lemah dibandingkan kristalin, sehingga bagian *amorf* dari selulosa akan mengalami proses hidrolisis. Bagian kristalin pada selulosa yang tidak terhidrolisis akan menjadi *Microcrystalline Cellulose* (MCC) (Håkansson & Ahlgren, 2005). Proses hidrolisis dimulai ketika *cake* selulosa hasil dari *bleaching* telah didistribusikan ke dalam Tangki Hidrolisis (R-230) menggunakan *Screw Conveyor* (J-231), kemudian dilakukan penambahan HCl 2,5 N dengan ratio pengenceran *cake:liquid* adalah 1:20. Hidrolisis asam berlangsung secara kontinyu pada kondisi suhu $80^\circ C$, tekanan 1 atm, dan proses pengadukan selama 15 menit (Battista et al., 1961). Berikut mekanisme reaksi kimia yang terjadi pada proses hidrolisis asam: (Harianja et al., 2015; Lestari, 2022).



6) Pengeringan

Tahapan ini akan mengurangi kandungan kadar air dan *cake* dari MCC pada proses sebelumnya. MCC dari tahap hidrolisis asam dialirkan menuju *Spray Dryer* (B-310) menggunakan *Screw Conveyor* (J-311) untuk dihilangkan kadar air dan HCl yang tersisa dari proses sebelumnya, sehingga dapat diperoleh produk MCC yang lebih murni. Proses yang terjadi pada *Spray Dryer* (B-310) dengan penambahan udara kering yang dipanaskan sehingga kondisi operasi berada pada suhu $120^\circ C$ dengan tekanan 1 atm. MCC yang telah murni diumpankan menuju *Ball*

Mill (C-315) untuk diperkecil ukurannya, kemudian menuju *Screen* (S-316) yang bertujuan untuk menghasilkan ukuran MCC yang lebih seragam, yaitu 120 mesh (0,125 mm) (Samgryce Siagian, 2020). Produk yang tidak lolos ayakan pada *Screen* (S-313), akan diumpankan kembali menuju *Ball Mill* (C-315). Produk MCC diumpankan dengan *Bucket Elevator* (J-318) menuju silo (F-319).

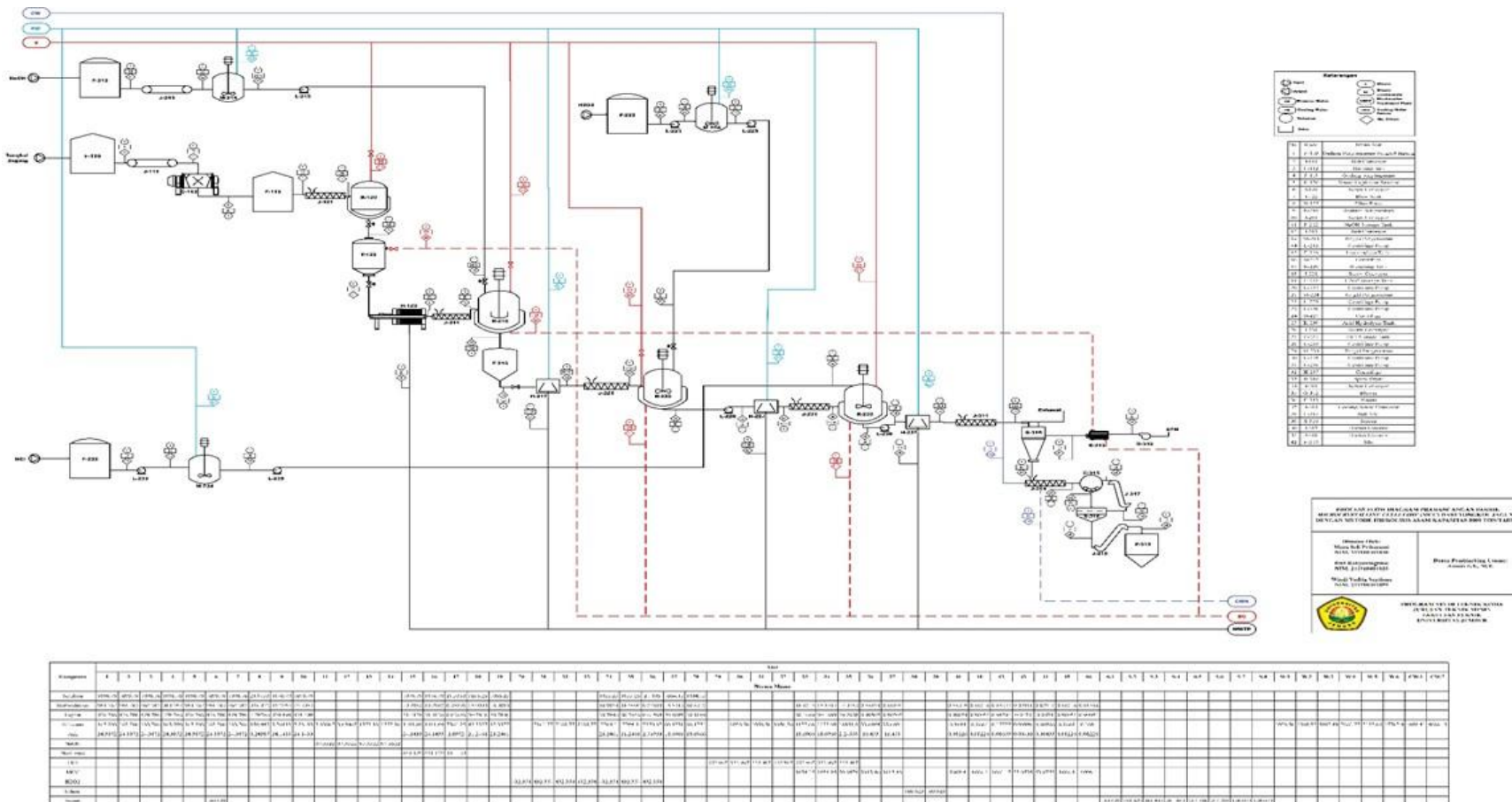
3. Utilitas

Unit utilitas merupakan salah satu unit penyedia tenaga pembantu dan bahan, sehingga dapat memaksimalkan proses operasi dalam pengolahan produk. Perancangan pabrik MCC terdapat beberapa unit utilitas yang meliputi:

- Unit pengolahan air : menyediakan kebutuhan air, seperti air kebutuhan karyawan, Laboratorium dan taman, kebutuhan fasilitas lainnya, pemadam kebakaran dan cadangan. Total kebutuhan air pada pabrik MCC sebesar 46.244,562 kg/jam.
- Unit penyedia *steam* : Kebutuhan *steam* dihasilkan dari Boiler dengan total kebutuhan sebesar 2.723,78 ib/jam
- Unit pembangkit listrik : untuk penyedia sumber energi listrik berasal dari PLN dan PLTD. Lampu yang digunakan ada dua jenis, yaitu *mercury* sebanyak 38 buah dan lampu TL sebanyak 29 buah.
- Unit penyedia bahan bakar : Bagian yang menyediakan bahan bakar pabrik, dimana bahan bakar yang digunakan adalah solar untuk boiler dan menggerakkan generator
- Unit pengolahan limbah : unit pengolahan limbah (WWTP) yang mengelolah dua jenis limbah, yaitu gas (*steam*) dan cair melalui beberapa *treatment*.



**PRA RANCANGAN PABRIK MICROCRYSTALLINE CELLULOSE (MCC) DARI TONGKOL JAGUNG DENGAN METODE HIDROLISIS
ASAM KAPASITAS 8.000 TON/TAHUN**



Gambar 1. *Flow Diagram Process*

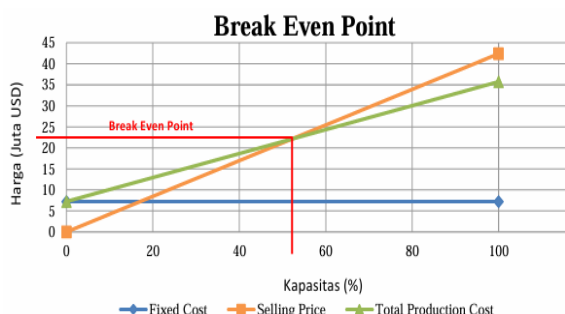
4. Analisis Ekonomi

Evaluasi diperoleh dari total kapasitas produksi. Hasil analisis ekonomi pabrik MCC tercantum dalam Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Evaluasi Ekonomi

Parameter	Range	Nilai	Keterangan
POT	POT < ½ umur pabrik (10 tahun)	3,7 tahun	Pabrik layak dibangun
ROR	ROR > Bunga bank (8,82%)	16,385 %	Pabrik layak dibangun
BEP	40 % < BEP < 60%	52,13%	Pabrik layak dibangun

POT (Pay Out time) adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk pabrik mengembalikan modal awal dari hasil penjualan yang diperoleh. ROR (Rate of Return) merupakan laju pengembalian modal per tahun dari investasi yang dilakukan. BEP (Break Even Point) merupakan titik impas yang mengartikan bahwa pabrik tidak untung dan tidak rugi karena nilai penjualan sama dengan keseluruhan modal yang dikeluarkan.



Gambar 2. Grafik BEP

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis teknik dan ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik Microcrystalline Cellulose akan didirikan di lahan kosong daerah Remen, kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Pabrik ini direncanakan beroperasi pada tahun 2028 secara semi kontinyu selama 330 hari dalam satu tahun dan 24 jam/hari dengan kapasitas produksi 8.000 ton/tahun. Bentuk badan usaha yang direncanakan yaitu Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan sebanyak 106 orang. Diperoleh hasil perhitungan Evaluasi ekonomi pabrik, yaitu POT 3,7 tahun; ROR 16,385%; dan BEP 52,13%.

Berdasarkan evaluasi ekonomi yang telah diperhitungkan dalam perancangan pabrik MCC layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

- Adiarso, Sugiyono A, Setiadi S, Hilmawan E, 2021, "Policy Brief Bidang Industri Proses dan Energi 2021", laporan penelitian, Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- Battista OA, Hill D, Smith PA, Chester P, 1961, "Level-off D.P. Cellulose Products", 978, 446.
- Bestari AN, Sulaiman TS, Purnamasari DA, 2017, "Pengaruh Pengecilan Ukuran Partikel pada Kasus Pembuatan Pulveres dari Tablet terhadap Kecepatan dan Profil Disolusi serta Stabilitasnya", *Majalah Farmaseutik*, 13(1), 45–55.
- Edison, Andarini D, Ela DS, 2019, "Karakteristik Mikroselulosa Mikrokristalin dari Rumpun Laut Merah *Eucheuma cottonii*", *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 483–489.
- Fauziyah B, Yuwono M, Isnaeni, Nahdhia N, Sholihah F, 2022, "Isolation and Characterization of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Bagasse Cellulose Hydrolyzed with Acid Variation", *Tropical Journal of Natural Product Research*, 6(6), 856–862.
- Håkansson H, Ahlgren P, 2005, "Acid Hydrolysis of Some Industrial Pulps: Effect of Hydrolysis Conditions and Raw Material", *Cellulose*, 12(2), 177–183.
- Harianja JW, Idiawati N, Rudiyanisya, 2015, "Optimasi Jenis dan Konsentrasi Asam pada Hidrolisis Selulosa dalam Tongkol Jagung", *Jurnal Kovalen*, 4(4), 66–71.
- Hu SH, Sun T, 2003, "Steam Explosion Treatment with Addition of Chemicals".
- Kulp K, Ponta JG, 2000, "Handbook of Cereal Science and Technology", 2nd ed.
- Lestari YPI, 2022, "Optimasi Konsentrasi HCl pada Proses Hidrolisis untuk Pembuatan Mikrokristalin Selulosa (MCC) dari Eceng Gondok", *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 1(10), 1335–1344.
- Li H, Saeed A, Jahan MS, Ni Y, Van Heiningen A, 2010, "Hemicellulose Removal from Hardwood Chips in the Pre-Hydrolysis Step of the Kraft-Based Dissolving Pulp Production Process", *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 30(1), 48–60.
- Lismeri L, 2020, "Preparasi dan Karakterisasi Mikrokristalin Selulosa dari Limbah Ubi



- Kayu”, *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri (JTII)*, 1(1).
- Oktanindya ER, Larasati C, 2024, “Desain Pabrik Microcrystalline Cellulose (MCC) dari Kayu Akasia”, tugas akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Permatasari HR, Gulo F, Lesmini B, 2014, “Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 dan NaOH terhadap Delignifikasi Serbuk Bambu (*Gigantochloa apus*)”, *Jurnal Penelitian Pendidikan Kimia*, 1(2), 131–140.
- Prayoga WNA, Aziz AA, 2024, “Isolasi dan Karakterisasi Microcrystalline Cellulose (MCC) dari Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) dengan Hidrolisis Asam”. Fakultas Teknik, Universitas Sulta Ageng Tirtayasa.
- Ren H, Shen J, Pei J, Wang Z, Peng Z, Fu S, Zheng Y, 2019, “Characteristic Microcrystalline Cellulose Extracted by Combined Acid and Enzyme Hydrolysis of Sweet Sorghum”, *Cellulose*, 26(15), 8367–8381.
- Rocha GJM, Martín C, da Silva VFN, Gómez EO, Gonçalves AR, 2012, “Mass Balance of Pilot-Scale Pretreatment of Sugarcane Bagasse by Steam Explosion Followed by Alkaline Delignification”, *Bioresource Technology*, 111, 447–452.
- Samgryce Siagian H, 2020, “Karakterisasi Film Kitosan-Mikrokristal Selulosa Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Adsorben”, *JIFI (Jurnal Ilmiah Farmasi Imelda)*, 4(1), 1–6.
- Saputra BYE, Fahmi MF, Widjaja T, 2022, “Fraksinasi Lignoselulosa dari TKKS dengan Metode Steam Explosion Pretreatment Disertai Penambahan Asam Formiat”, *Jurnal Teknik ITS*, 11(2).
- Sindhuwati C, Mustain A, Rosly YO, Aprijaya AS, Mufid M, Suryandari AS, Hardjono H, Rulianah S, 2021, “Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis”, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(2), 128–144.
- Straits R, 2024, “Microcrystalline Cellulose Market Size”, *Straits Research*.
- Sunardi, Lestari A, Junaidi AB, Istikowati WT, 2019, “Isolation of Microcrystalline Cellulose from Medang Wood (*Neolitsea latifolia*)”, *Konversi*, 8(2), 69–76.
- Suseno N, Adiarto T, Haryanto V, Farandi R, Masui GT, Azzahra Ivony F, 2023, “Kondisi Proses Delignifikasi terhadap Sifat Fisis Tisu dari Jerami Padi (Delignification Process Conditions on the Physical Properties of Tissue from Rice Straw)”, *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 15–20.
- Susiana L, Pramudi MI, Rosa HO, 2024, “Hama Jagung di Gudang Penyimpanan dengan Kadar Air Berbeda”, *Proteksi Tanaman Tropika*, 7(3), 943–951.

